ENCICLOPEDIA MODERNA DE ELECTRONICA

3

radiorama

COLUMNAS SONORAS

BOCINAS - LABERINTOS GABINETES P/ ESTEREO

SAUL
SORIN

SAUL
SORIN

COLUMNAS SONORAS

- EL PROXIMO TITULO:
  4. AMPLIFICADORES PARA GUITARRAS ELECTRONICAS Y LUCES AUDIORITMICAS

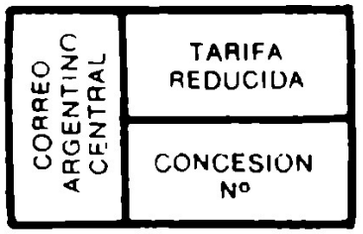
- OTROS TITULOS DE ESTA COLECCION:
  1. AMPLIFICADORES MODERNOS
  2. BAFFLES (PANTALLAS ACUSTICAS)

SAUL SORIN

COLUMNAS SONORAS

BOCINAS·LABERINTOS·ESTEREOFONICOS

Littec
EDICIONES
FONDO DE LITERATURA TECNICA



DIRECTOR TECNICO:
SAUL SORIN

DIRECTOR ADMINISTRATIVO:
JOSE MAUGERI

REG. NAC. PROPIEDAD INTELECTUAL

HECHO EL DEPOSITO QUE MARCA LA LEY

PROHIBIDA LA REPRODUCCION SIN PERMISO DE LOS EDITORES

COPYRIGHT 1971 BY LITTEC EDICIONES

LARRAZABAL 2619
BUENOS AIRES - ARGENTINA

DISTRIBUCION EN CAPITAL FEDERAL
VACCARO Hnos. S.R.L.
SOLIS 585

INTERIOR Y EXTERIOR
RYELA S.A.
PARAGUAY 340

IMPRESO
HUGO TORRES y Cía.
IMPRESORES S.R.L.
AMADOR 1875
OLIVOS

CONTENIDO

I. DIVERSOS TIPOS DE GABINETE REFLECTORES DE BAJOS. Modelos comerciales • El gabinete E-W • El gabinete reflector de dos cámaras • El gabinete "Diffusicone" • Carga por bocina sobre la cara anterior del parlante • El gabinete Karlson • El efecto de la hendidura • El gabinete Klipsch-Rebel • El gabinete R-J • Circuitos eléctricos equivalentes • El gabinete Duette • Ajuste de gabinetes reflectores de bajos • Ajuste por medio de una pila • Ajuste mediante un generador de audiofrecuencia • El método de doble resonancia • El método de la inclusión de bloques • Ajuste de ventanillas distribuidas • Reflectores de bajos del tipo elipsoidal y esférico.

II. TUBOS Y LABERINTOS. Tubos de extremo abierto y cerrado • Disposiciones prácticas • El laberinto acústico • El acoplador acústico de Flewelling • El gabinete Decca • El gabinete Transflex • El gabinete de bates • Laberinto acústicos económicos.

III. LA BOCINA. Teoría de funcionamiento • Diferencias entre un tubo y una bocina • La práctica de la bocina • La bocina de Voigt • Las bocinas de Stromberg-Carlson y University • El problema de las dimensiones en las bocinas • Imágenes reales y virtuales • El gabinete "Purista" • El gabinete Regency • Teoría y práctica de la bocina plegada.

IV. COLUMNAS SONORAS. Acoplamiento mutuo entre altoparlantes • Teoría del agrupamiento en columna • El mástil de barbero de Philips • Reducción de la altura eficaz con la frecuencia • Métodos eléctrico y acústico • El radiador lineal curvado.

AL LECTOR ...

Con el presente volumen de la colección RADIORAMA, completamos el desarrollo, por cierto exhaustivo, que hemos realizado sobre el por demás interesante e importante tema de los gabinetes acústicos. Habiendo tratado en el volumen anterior la teoría general que justifica la necesidad de emplear una pantalla acústica en combinación con el altoparlante, para poder obtener un adecuado acoplamiento de la membrana vibrante al aire, y con ello conseguir un buen rendimiento acústico, especialmente en cuanto a las frecuencias bajas se refiere y habiendo expuesto, en sendos capítulos del gabinete cerrado o infinito y el reflector de bajos, pasamos en este tercer volumen a estudiar los gabinetes reflectores de bajos especiales, del tipo E-W, el popular Karlson, el no menos difundido R-J, por sus reducidas dimensiones totales, el Bates, etc. En otros capítulos se desarrolla in extenso la teoría de las columnas sonoras y sus más conocidas aplicaciones comerciales, así como los laberintos, las bocinas plegadas y las columnas sonoras, que tanta aceptación han tenido como gabinetes aplicables, por sus características especiales, a las salas de conferencias, iglesias, fábricas, etc. Por último, en el capítulo final se encara la descripción de los gabinetes especiales para amplificadores estereofónicos.

Creemos que, con estos dos volúmenes, el profesional tendrá a su alcance una adecuada fuente de estudio e información, permitiéndole resolver cualquier caso práctico que pueda presentársele en relación con este tema.

Los EDITORES

1

TIPOS DE GABINETES REFLECTORES DE BAJOS

Los gabinetes reflectores de bajos que hemos descripto en el anterior volumen, en cierta medida son los que pueden considerarse como clásicos dentro de esa categoría. Existen otros que funcionan basados en el mismo principio, pero su aspecto exterior no los hace fácilmente reconocibles como reflectores de bajos. Por último, otros gabinetes, que aparentan ser reflectores de bajos, no lo son en modo alguno. Como bien afirma *Hartley*, puede considerarse que todo gabinete compacto dotado de un altoparlante de gran tamaño, sin túnel en la ventanilla, no se comportará como inversor acústico de fase (reflector de bajos) a menos que la frecuencia de resonancia del parlante sea muy alta, pero en ese caso el gabinete no será adecuado para la reproducción de alta calidad.

Describiremos, a continuación, los modelos comerciales más conocidos y sus características de funcionamiento.

EL GABINETE E-W

Constituye una versión algo modificada del reflector de bajos original, al que se le ha dotado de un aditamento que permite aumentar el recorrido de la onda posterior en el interior de la caja, sin que por ello sea necesario aumentar el volumen de ésta. El dispositivo que permite tal cosa es, simplemente, un tabique interior con una inclinación de 20 grados (fig. 1). El resultado es la creación de dos cámaras elásticas equilibradas, aumentando el amortiguamiento del cono y reduciendo la frecuencia de resonancia, puesto que el efecto de la cámara elástica adicional, en el circuito eléctrico equivalente (ver "RADIORAMA" Nº 2), es el de un capacitor en serie. Recuérdese que el gabinete, de *Baruch-Lang* empleaba el mismo sistema de dos compartimientos, pero con un tabique diagonal perforado. Este gabinete ha resuelto el problema de las ondas reflejadas mediante la colocación de las tablas *B* y *C*, que cierran los ángulos de 90 grados del interior de la caja, interrumpiendo de esta manera la formación de superficies planas paralelas, que favorecen la creación de estas ondas. Con este procedimiento es posible reducir la cantidad de material absorbente acústico, favoreciendo así a la energía radiada de bajas frecuencias, ya que la onda posterior resulta menos absorbida.

G. L. Augspurger ha proyectado también un gabinete reflector de bajos con dos cámaras, cuyo aspecto se expone en la fig. 2 y que hace recordar, en cierto sentido, el gabinete que hemos mostrado en la fig.

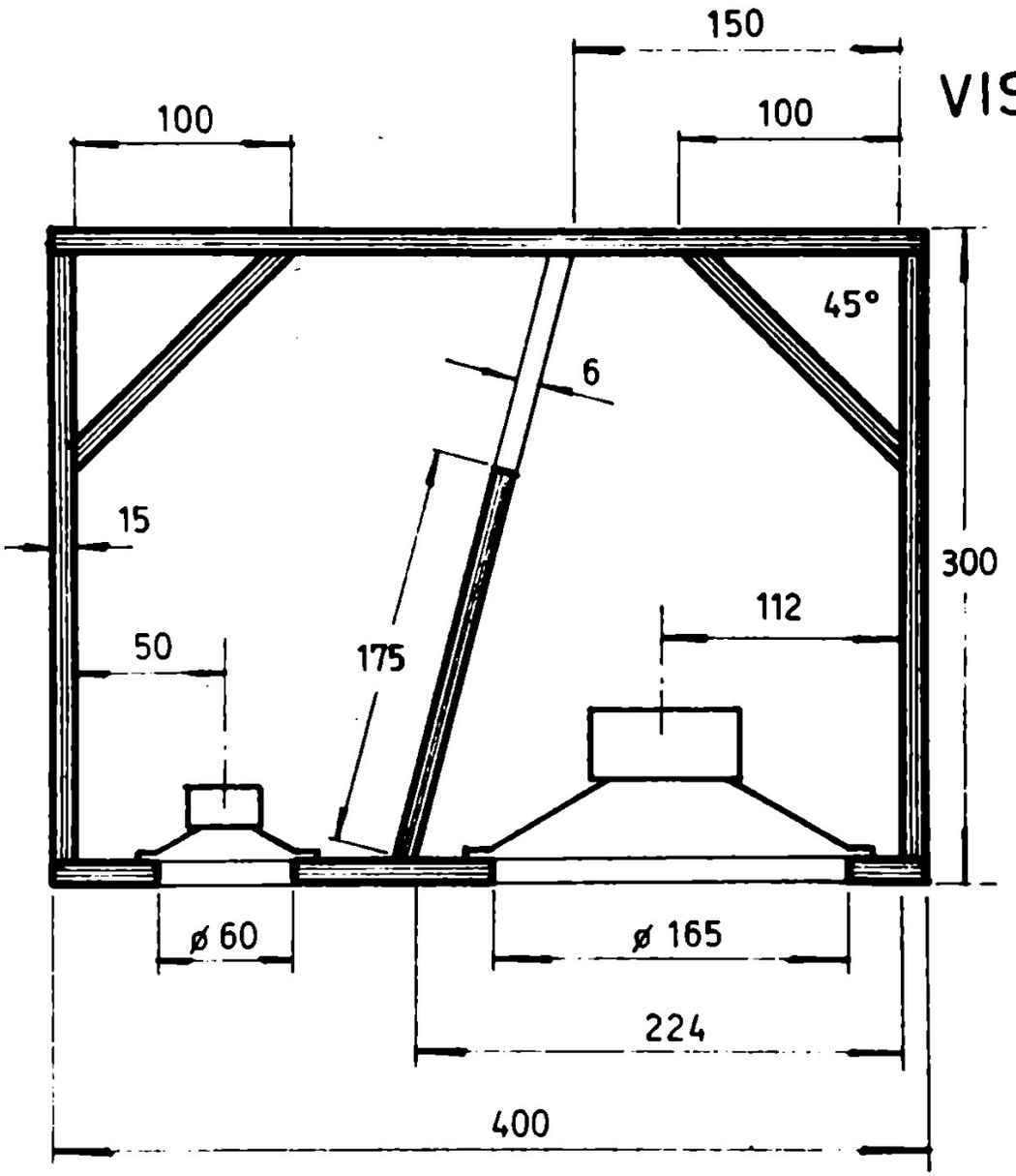
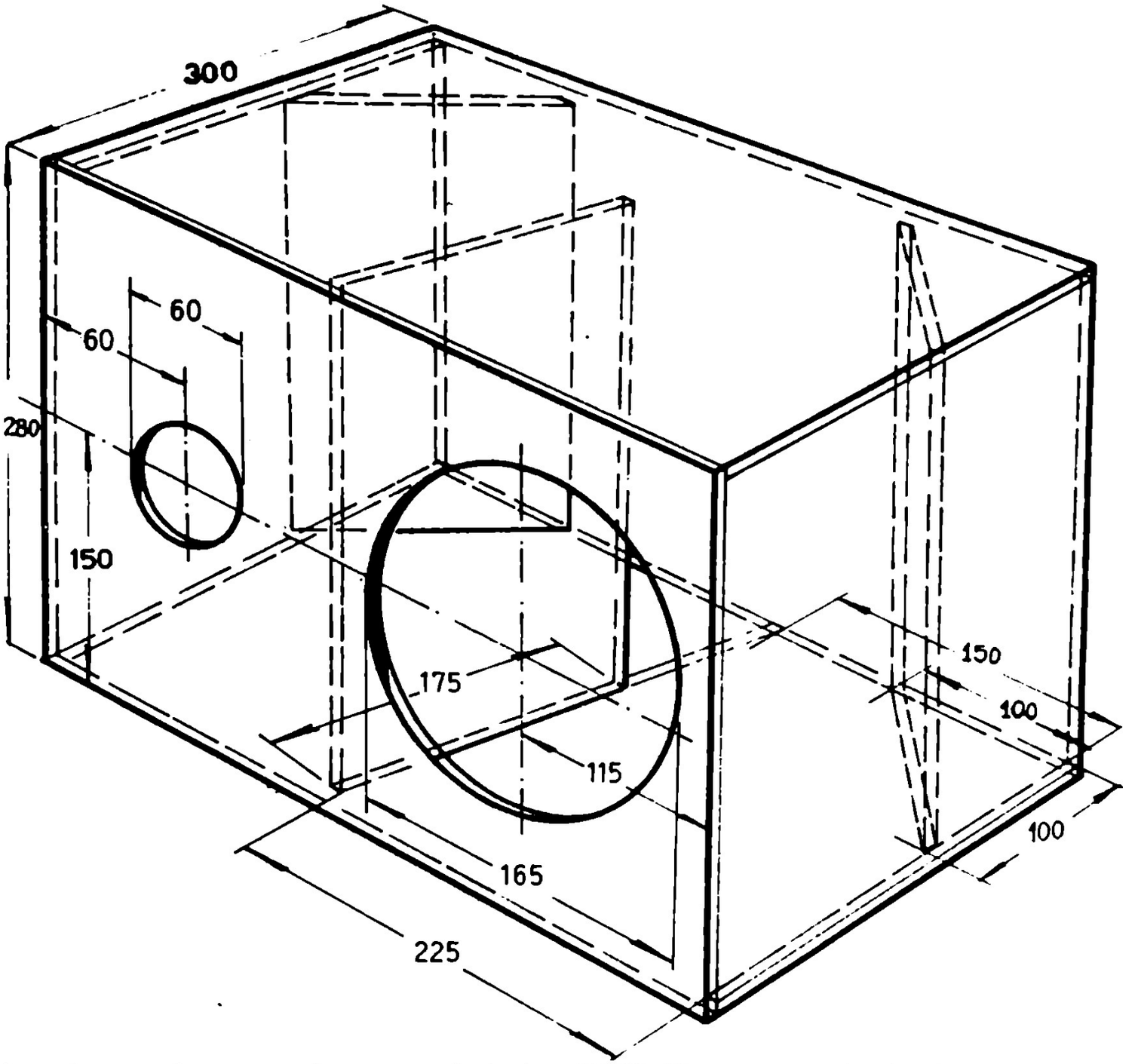


Fig. 1: Gabinete "E-W", con tabique interior, que divide el espacio en dos cámaras elásticas, haciendo que el conjunto opere como un filtro acústico pasa-bajos de dos celdas

(A), adoptado por la compañía *Quad*. Utiliza un parlante de 20 cm (8"). Afirma el autor mencionado que el reflector de bajos clásico carga fuertemente al cono a la frecuencia de resonancia, pero no por encima y debajo de ella. En consecuencia, si la frecuencia de resonancia es muy baja, se producirá la sobrecarga del parlante en las frecuencias medias. Por el contrario, si la frecuencia de resonancia del gabinete es muy alta, se perderán los bajos profundos y el parlante podrá sobrecargarse por las señales de bajas frecuencias de audio.

El gabinete de doble cámara se sintoniza, por el contrario, a dos frecuencias, separadas entre sí por una octava. La frecuencia más alta suministra carga acústica en la región media, en tanto que la frecuencia más baja mantiene la carga hasta un límite inferior adecuado.

La cámara mayor recibe el parlante y se sintoniza a 70 Hz, siendo su volumen de 0,05 m^3 (1,8 pie^3). Para la sintonía se utiliza el efecto combinado de dos túneles: uno en el tabique separador y otro en la ventanilla al exterior. Por debajo de los 70 Hz,



la primera cámara comienza a reducir la carga en el parlante y el aire pasa libremente por el orificio del tabique separador, que prácticamente deja de obrar como tal. Cerca de los 35 Hz el volumen combinado de las dos cámaras y las dos ventanillas establecen la resonancia baja del sistema. La cresta que aparece entre los 85 y 105 Hz se elimina colocando material absorbente acústico detrás del altoparlante.

EL GABINETE "DIFFUSICONE"

Se trata de una creación de la compañía

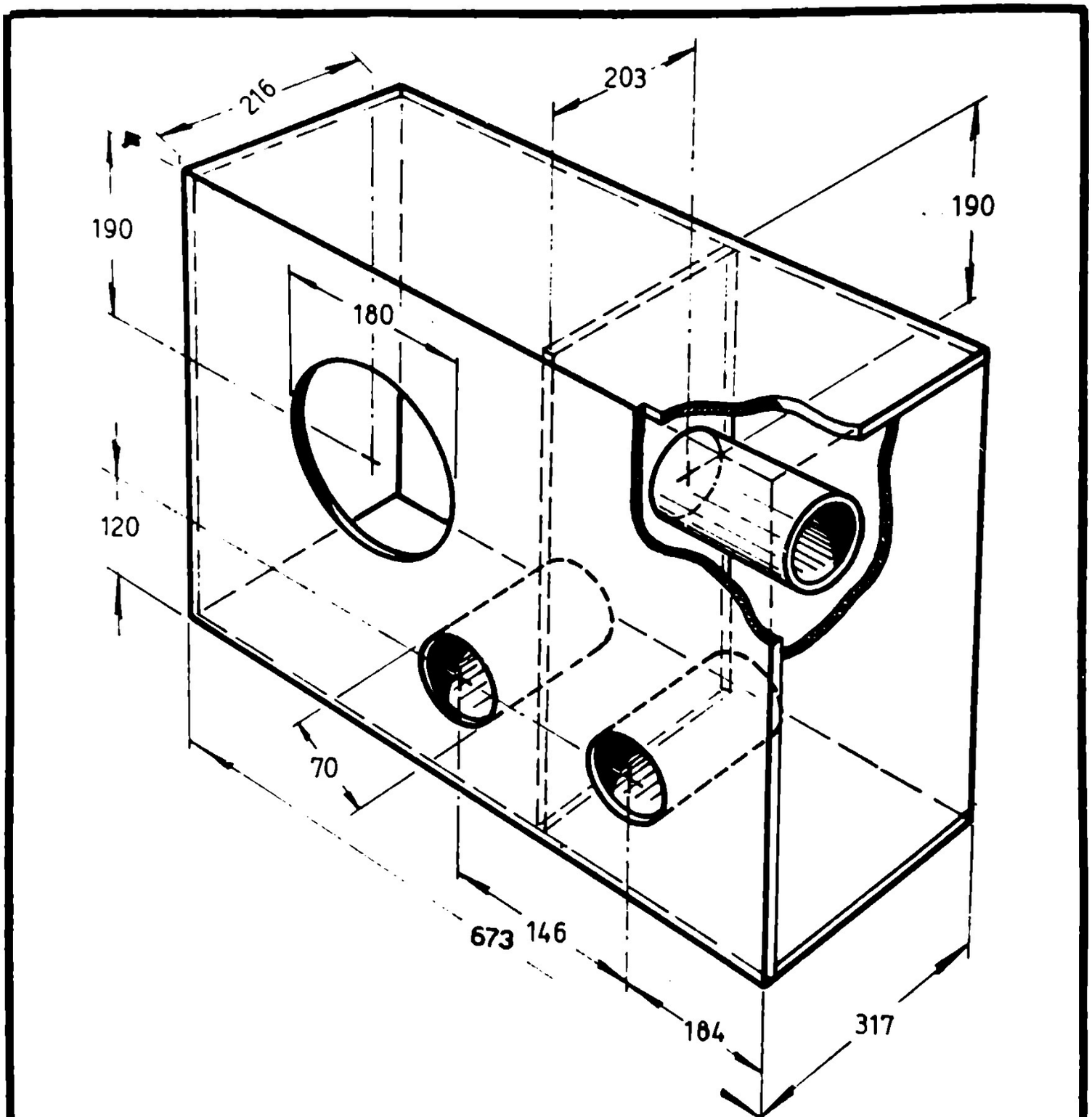


Fig. 2: Detalles de construcción del gabinete de dos cámaras. Se incluyen dos tubos de cartón de 20 cm de largo y 7 cm de diámetro

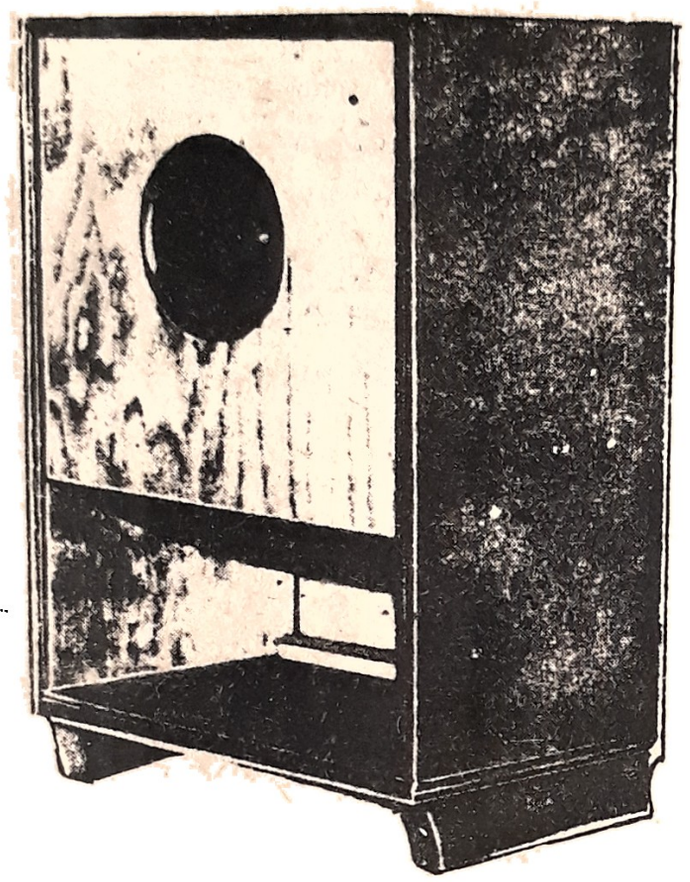


Fig. 3: Vista exterior del gabinete reflector de bajos "Diffusicone", que posee carga por bocina sobre la ventanilla reflectora

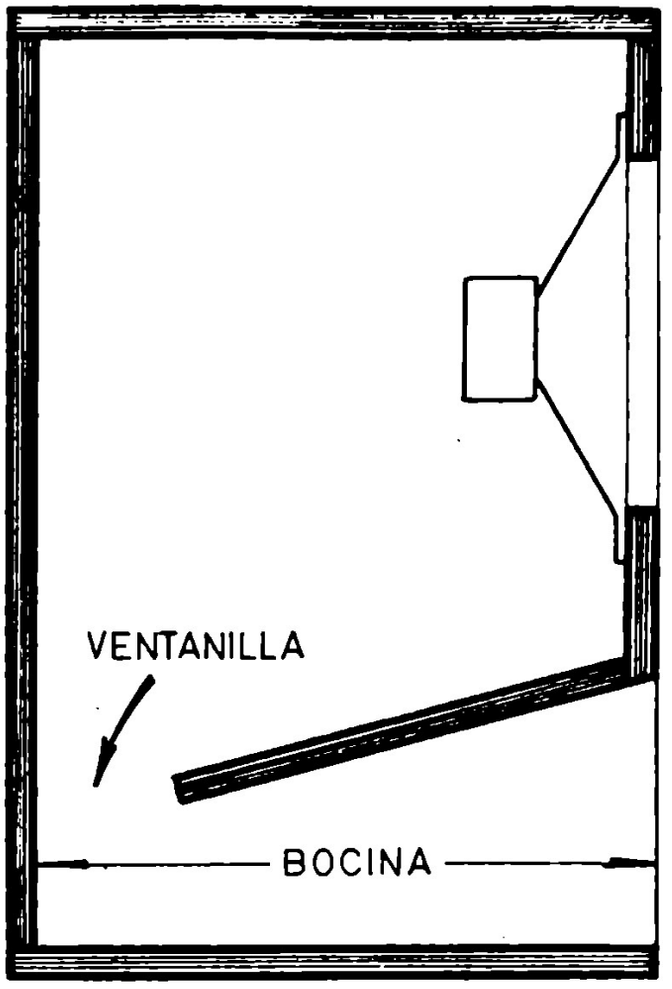
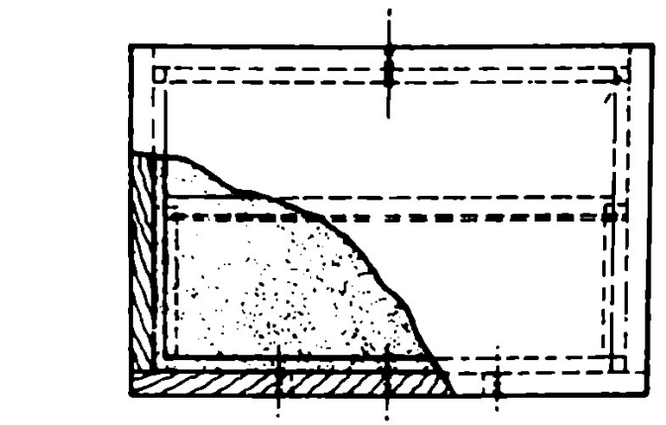


Fig. 4: Vista del gabinete "Diffusicone" en corte. Puede verse claramente que la ventanilla es interior estando cargada ésta por la bocina, que se abre al exterior

University, expuesta por primera vez en la Feria de Audio de N. Y. (1954), para su altoparlante de 20 cm de diámetro; más tarde se extendió este sistema a otras medidas de conos. Si se observa la fig. 3, que presenta una vista exterior de este gabinete, la impresión dominante es que la ventanilla reflectora es excesivamente grande, pero en realidad no es así, puesto que tal abertura en el frente no corresponde a la ventanilla reflectora de bajos, sino que es la boca de una pequeña bocina exponencial aplicada a la verdadera ventanilla reflectora, que puede verse en el interior del gabinete, en el corte lateral (fig. 4).

El agregado de la bocina a la ventanilla constituye una idea sumamente interesante y útil (aun cuando no exclusiva de la *University*), puesto que suministra una radiación muy superior de las frecuencias menores, ya que es sabido que tales frecuencias exigen aberturas grandes. Con la aplicación de la bocina, aun en el caso de que la ventanilla reflectora sea muy pequeña, por razones de proyecto, se produce un efecto de transformación de la superficie de la venta-



PANEL	CANT.	MEDIDAS
A	1	18"x15 3/4"x 3/4"
B	2	23"x 12"x12"x3/4"
C	2	18" x 12"x3/4"
D	1	23 1/2" x 16 1/2"x3/4"
E	1	16 1/2"x6 3/4"x 1/2"

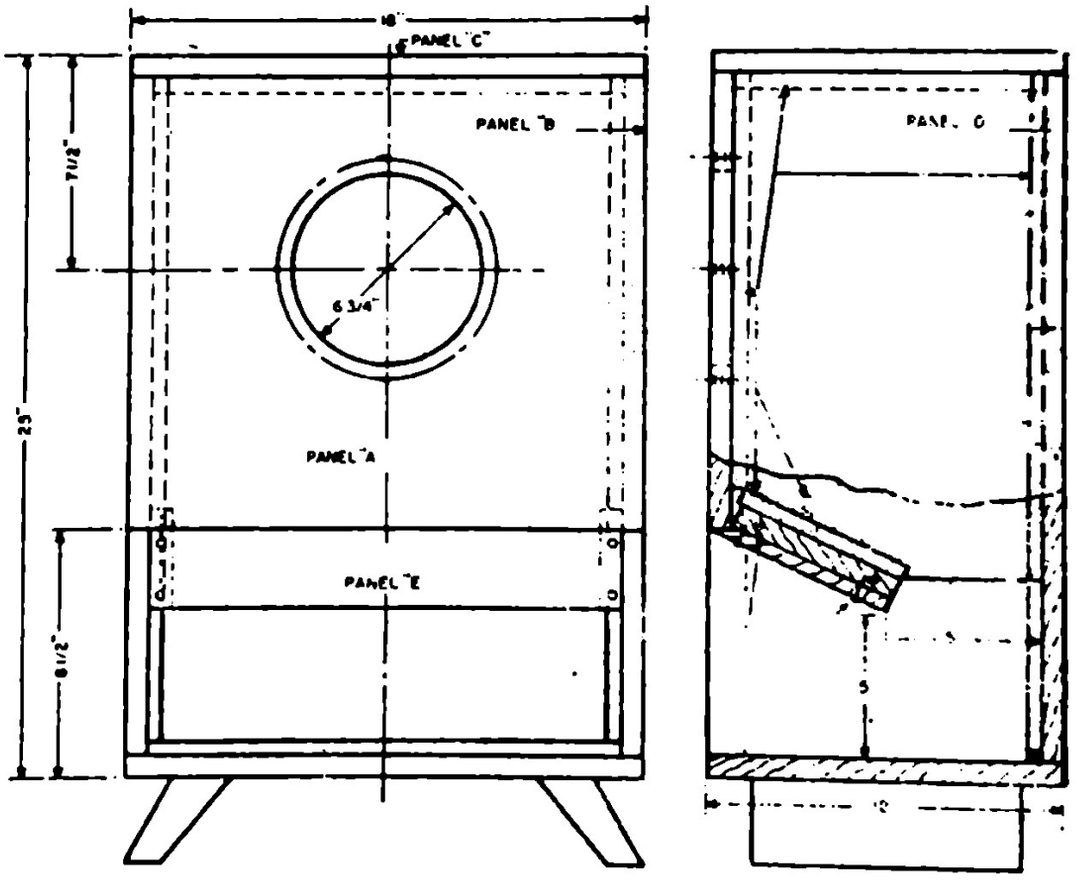


Fig. 5: Detalles de la construoción del gabinete "Diffusicone" para un altoparlante de 20 om de diámetro (8")

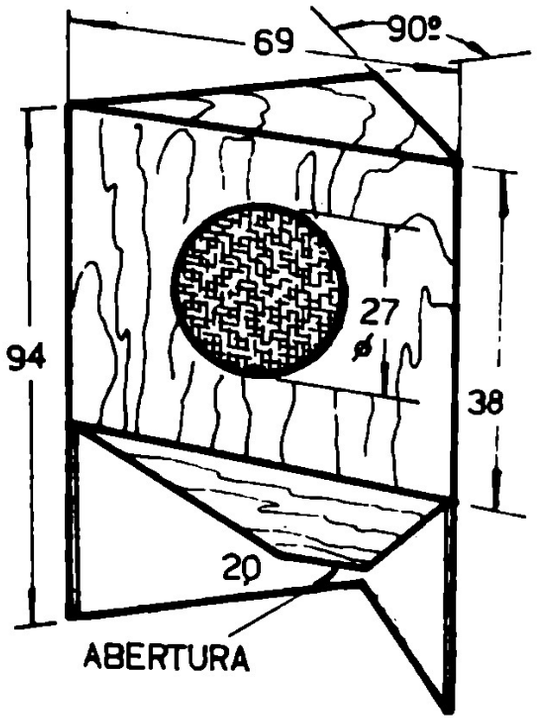


Fig. 8: Reflector de bajos del tipo rinconera, dotado de carga por bocina sobre la ventanilla reflectora

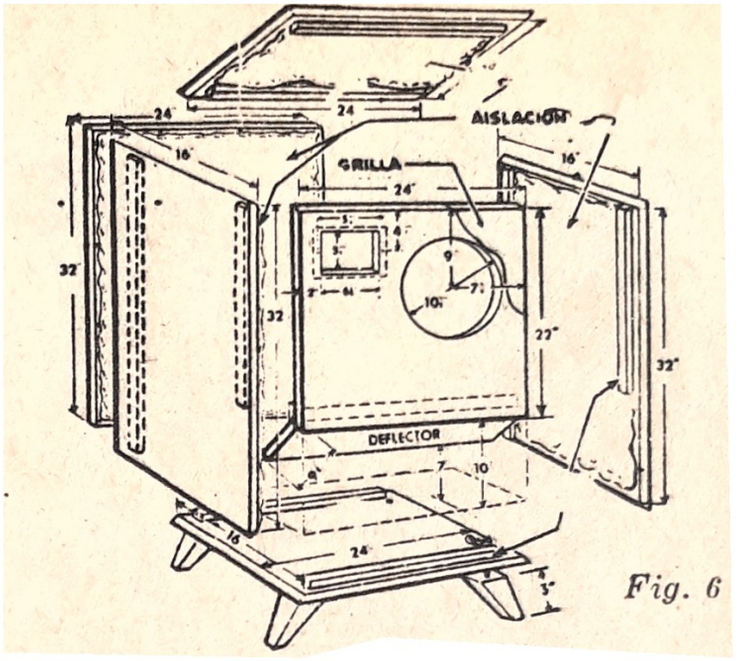
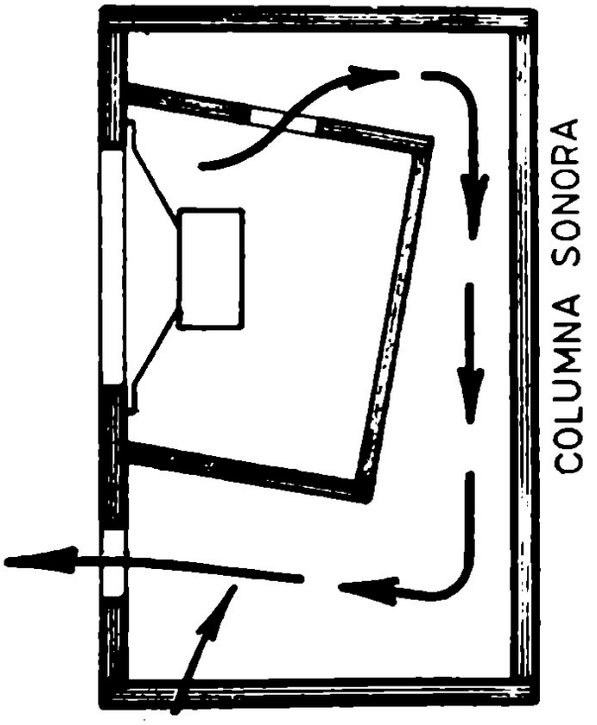


Fig. 6



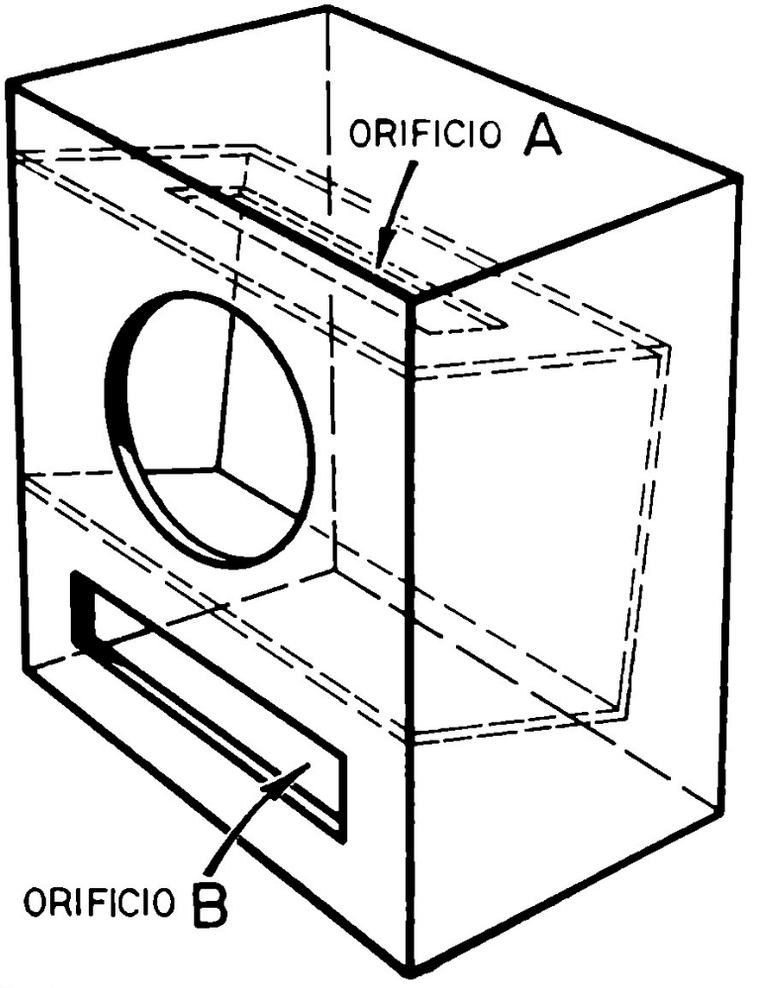


Fig. 7: Otro gabinete reflector de bajos, que posee carga por bocina

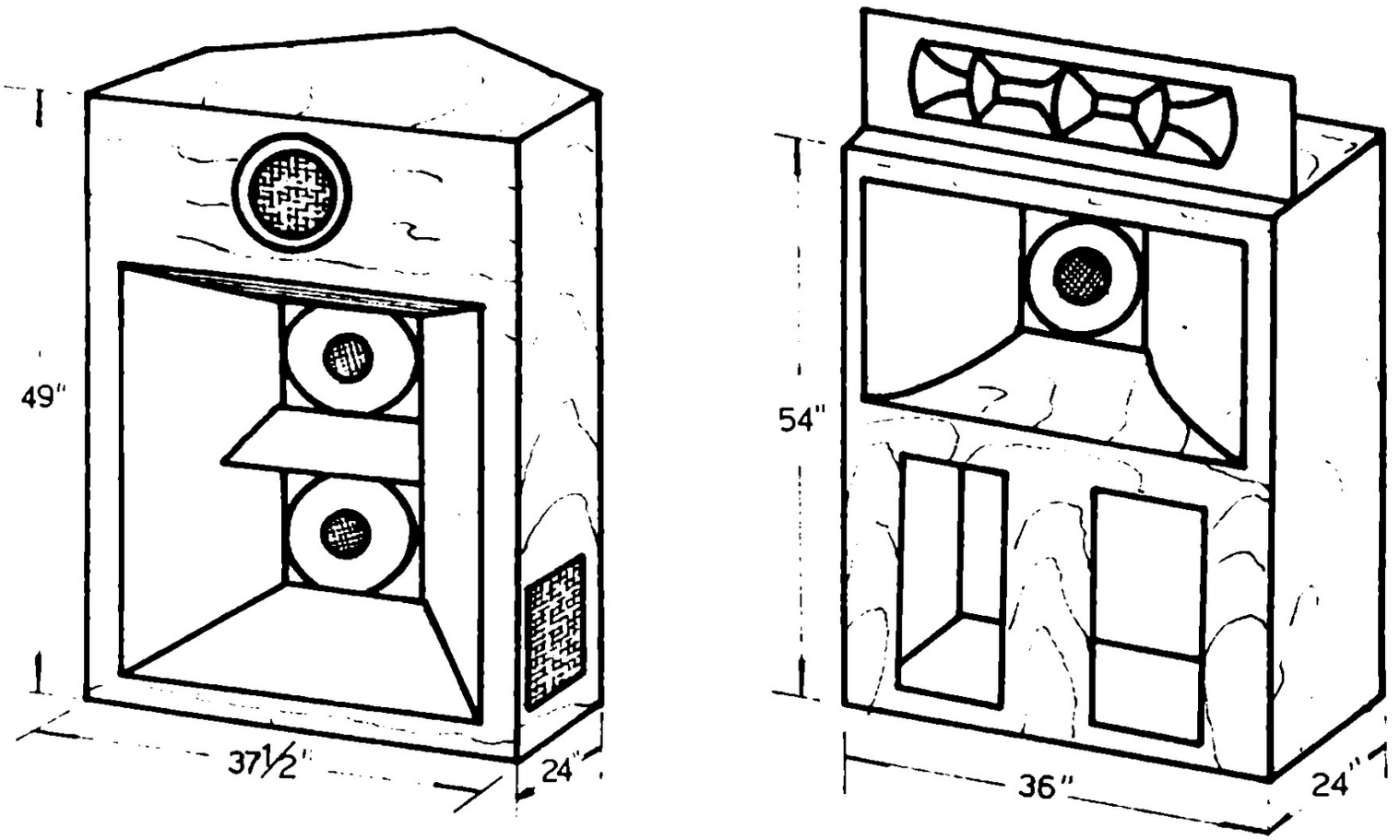


Fig. 9: Reflectores de bajos con carga por bocina sobre la cara anterior del cono del altoparlante (a la izquierda: Jin Lansing). A la derecha: Altec Lansing, modelo Voice of the theatre).

nilla reflectora en el equivalente a la superficie de la boca de la bocina, en cuanto a la acción como carga sobre el parlante se refiere (véase más adelante el capítulo sobre bocinas).

Otra ventaja radica en la proximidad de la boca de la bocina al piso, el que actúa como extensión natural de las paredes de la bocina, mejorando la respuesta en bajas frecuencias.

CARGA POR BOCINA SOBRE LA CARA ANTERIOR DEL PARLANTE

En lugar de aplicar la carga por bocina sobre la ventanilla, pueden conseguirse excelentes resultados haciéndolo para el recorrido de la onda anterior, como es el caso de los gabinetes "Altec-Lansing" y "J. Lansing" (fig. 9). En el modelo de dos parlantes se aprovecha el efecto de radiación mutua, que combina sus superficies vibrantes, teniendo cada parlante su propia cámara reflectora. En el modelo de un solo parlante, la ventanilla está dividida en dos secciones, para un mejor equilibrio de las presiones internas.

EL GABINETE KARLSON

El gabinete acústico proyectado por *John E. Karlson*, cuyo aspecto exterior de frente se puede observar en la figura 10, es difícil que, a primera vista, se reconozca como reflector de bajos, pero en realidad lo es. La diferencia principal con los siste-

mas clásicos consiste en que la cara anterior del cono y la ventanilla reflectora están acopladas a una cámara de aire, que actúa como un tubo resonante de extremo abierto. Tales cámaras en forma de tubo resonante, si bien aumentan el rendimiento, tienen el inconveniente de presentar una gran cresta en la curva de respuesta a frecuencias, cuando se llega a la resonancia de la masa de aire encerrado en el gabinete. Tal resonancia tiene lugar cuando la longitud de la cámara es igual a un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia a radiar. A frecuencias más elevadas, la cámara se comportará como una línea de transmisión sintonizada, siendo el resultado que la reflexión de la onda correspondiente a un medio o múltiplos de un medio de la longitud de onda a radiar, dará lugar a la formación de ondas estacionarias, con sus correspondientes nodos y vientres, o sea puntos de máxima radiación y puntos de neutralización. El resultado de este comportamiento especial se expone en la fig. 11 (A).

Tal como lo veremos con más detalles al estudiar los gabinetes que funcionan por el principio del tubo resonante de extremo abierto (Flewelling, Air Coupler, etc.), se ha resuelto el problema expuesto en forma por demás elegante, suministrando al tubo resonante una hendidura en el extremo abierto (como se expone en B). En efecto, las reflexiones en el tubo resonante se originan por causa de las discontinuidades bruscas pero si una de éstas no es tan abrupta sino que está formada por una corta sección ahusada en el extremo abierto, que suministre una cantidad constante de energía para cada incremento de su longitud, entonces la curva de resonancia se modificará. A medida que esta hendidura se va prolongando, las crestas se ensancharán y, finalmente, cuando la hendidura llega a los dos tercios de la longitud de la columna, el resultado será una respuesta a frecuencias completamente plana, debido a que existen iguales discontinuidades para todas las frecuencias dentro de la banda. Los mejores resultados se obtienen con una hendidura de forma exponencial (fig. 11C).

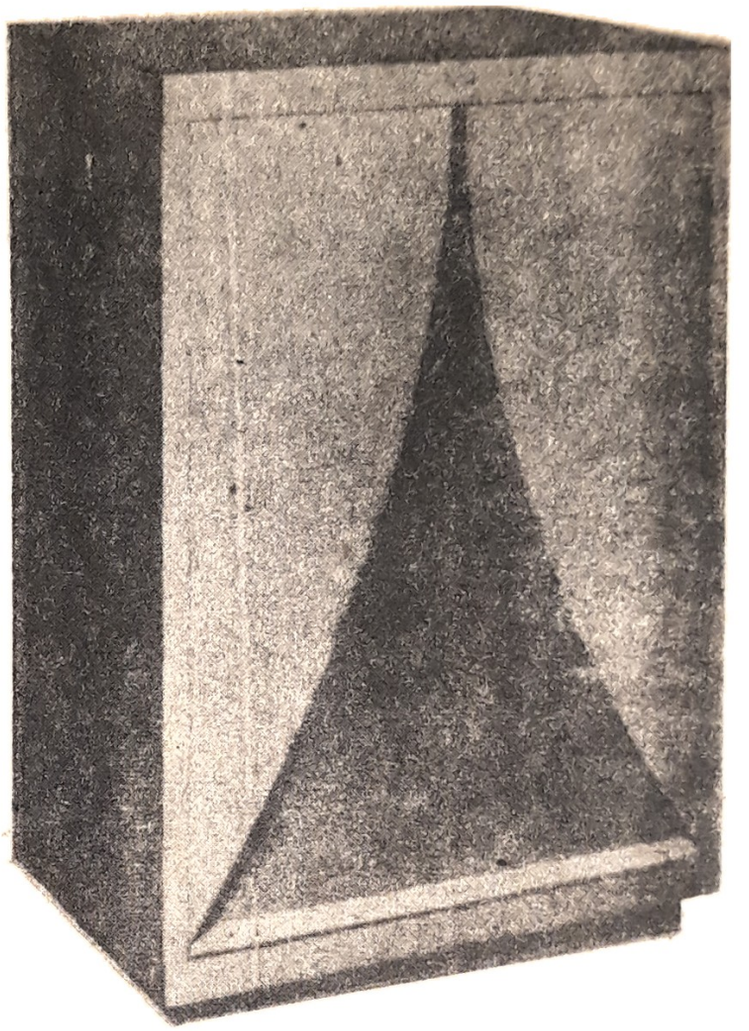


Fig. 10: Vista exterior del gabinete reflector de bajos Karlson

Con la aplicación de este principio al reflector de bajos, *Karlson* ha conseguido, con un gabinete de 86 x 61 x 38 cm (dimensiones exteriores) llegar hasta los 10 Hz. El grado en que la última octava del espectro es cubierta, depende, desde luego, del parlante empleado, puesto que cuanto más baja sea su frecuencia tanto más plana será la respuesta por debajo de los 40 Hz. El gran rendimiento que suministra este gabinete en las frecuencias muy bajas resulta, evidentemente, del gran acoplamiento existente entre las superficies radiantes y el

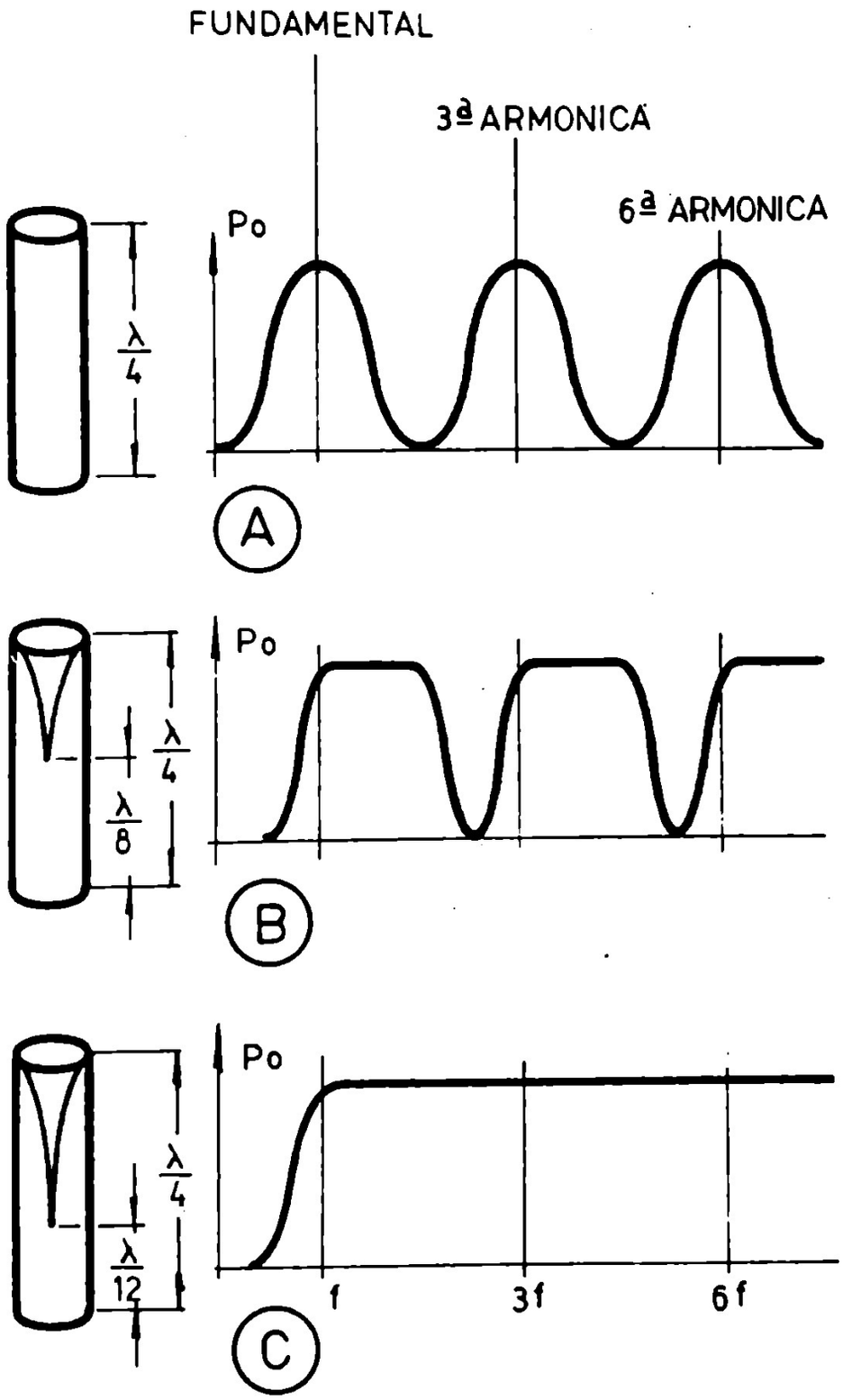


Fig. 11: Efecto que producen las escotaduras sobre la respues a frecuencias de un tubo resonante. Los mejores resultados se obtienen con hendiduras de progresión exponencial

aire, debido a la presencia de las cámaras anterior y posterior. El amortiguamiento de la frecuencia de resonancia del cono es excelente y se consigue, lo que es ideal, sin hacerlo a expensas del rendimiento, como es el caso del gabinete completamente cerrado y otros, o con el empleo de ventanillas muy pequeñas. En una palabra, la energía gastada para efectuar el amortiguamiento se convierte, en el caso del gabinete *Karlson*, en sonido en tanto que en los otros casos se desperdicia en calor.

La curva de la impedancia de la bocina móvil, para un altoparlante colocado en el interior de un gabinete *Karlson*, muestra la ausencia completa de resonancias mecánicas, siendo los resultados similares a los obtenidos con una bocina exponencial larga. Otra característica importante es la relación no armónica de las crestas y valles de la curva. De esta manera, al tratar de reproducir una nota de 30 Hz no se refuerzan sus armónicas de 60 y 90 Hz, como es el caso del gabinete reflector de bajos común, en el que se ha establecido que, en ocasiones, las armónicas aparecen más fuertes que la misma frecuencia fundamental, la que puede desaparecer casi completamente, siendo esta la causa de los "bajos sucios" de que se ha acusado a estos gabinetes.

Finalmente, en la fig. 13 (A) puede verse el diagrama de radiación de un altoparlante de 38 cm (15"), a distintas frecuencias y salida constante. Como comparación, en la fig. (B) puede verse el resultado obtenido con el sonido radiado por una hendidura, siendo la dispersión completamente uniforme a las distintas frecuencias. Si bien esta curva corresponde al caso ideal teórico, el estudio de las curvas de la fig. 14, tomadas con el gabinete *Karlson*, demuestran que con éste las condiciones se aproximan bastante al caso ideal.

En el plano vertical se produce un cierto efecto de angostamiento o enfoque, pero la disposición de los elementos integrantes del gabinete es tal que puede considerarse que la radiación es uniforme dentro de un ángulo de 120 grados. Tal ángulo, por la disposición del altoparlante y las ventanillas, es dirigido hacia arriba. La parte superior del mismo cae justo en la intersección de la pared opuesta y el cielorraso, obteniéndose un refuerzo por efecto de las dos superficies planas. Desde luego que el máximo refuerzo se consigue colocando el gabinete en un rincón, puesto que así son tres las superficies reflectoras.

La fig. 15 explica el porqué de las características direccionales propias del gabinete *Karlson*. Obsérvese que la energía puesta en juego es uniformemente distribuida sobre una línea recta. Excesos de presión se desarrollan a intervalos regulares a lo largo de la longitud de la abertura, dependiendo de si se produce o no compresión o expansión en la energía contenida dentro del gabinete. Cuando estos excesos de presión se producen, una parte de la energía que transcurre a lo largo de la longitud de la columna es liberada como radiación. Las distancias entre tales áreas de radiación son gobernadas por las longitudes de onda propagadas. En estas condiciones, la abertura escotada se torna una fuente que suministra iguales cantidades de energía a intervalos regulares a lo largo de la línea. En las frecuencias bajas se produce una sola zona de liberación, en tanto que en las frecuencias altas tienen lugar varias zonas.

El diagrama de radiación de este tipo de distribución de energía, para el caso ideal, es el de una distribución uniforme en un plano normal al eje de la columna, en tanto que se angosta el haz en los planos que incluyen al eje. En las frecuencias altas, el diagrama de radiación es, teóricamente, un elipsoide de revolución, semejante a un balón achatado. En la práctica, este haz más angosto se ensancha, debido a que las zonas individuales de liberación de energía no son fuentes puntuales y la disposición adicional en las frecuencias altas puede efectuarse a

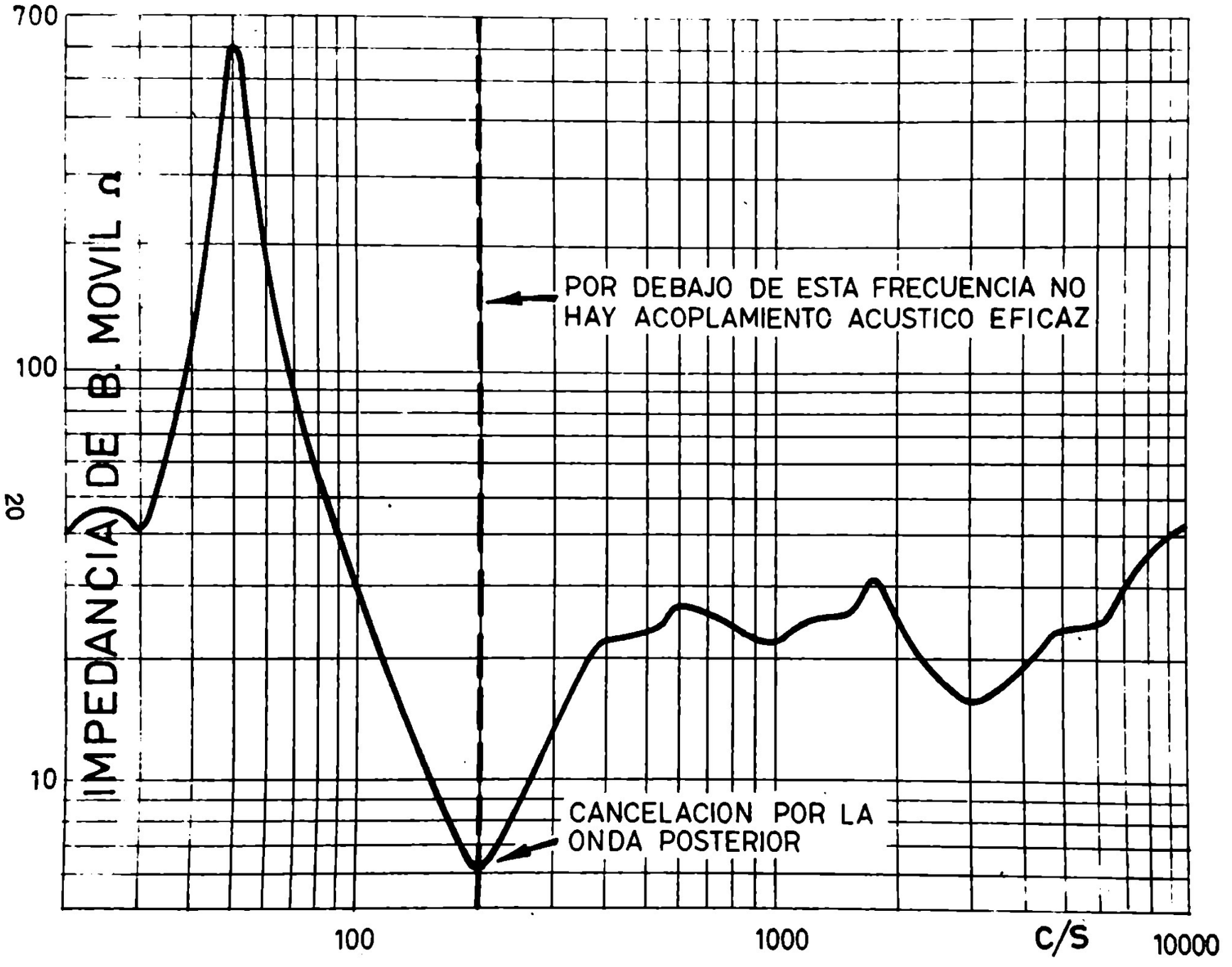


Fig. 12-A: Curvas características de la impedancia de la bobina móvil en el altoparlante empleado para las pruebas al aire libre

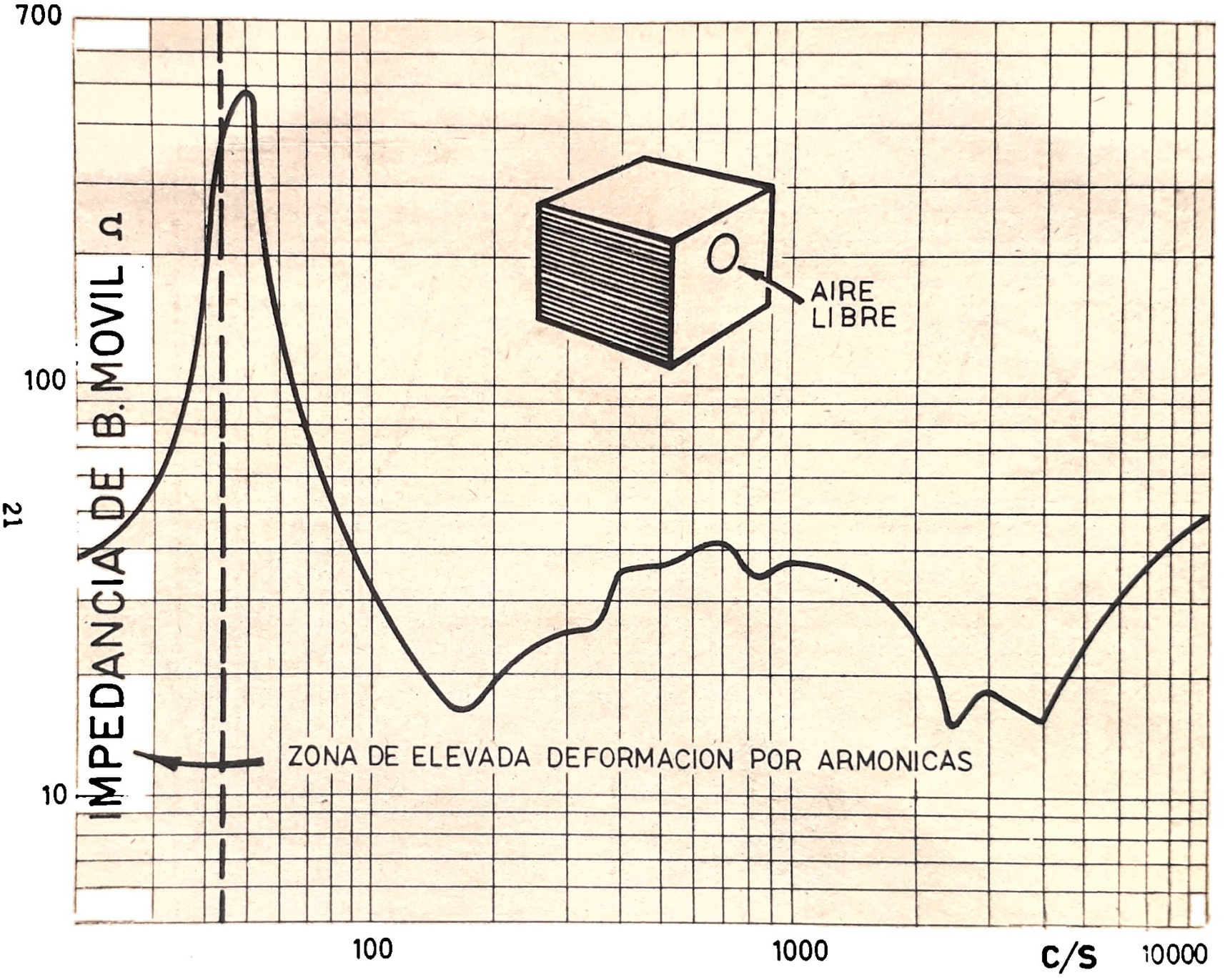


Fig. 12-B: Curvas del mismo altoparlante colocado en una gran pantalla de tipo infinito (en realidad en la pared de una habitación de 73 metros cúbicos de capacidad)

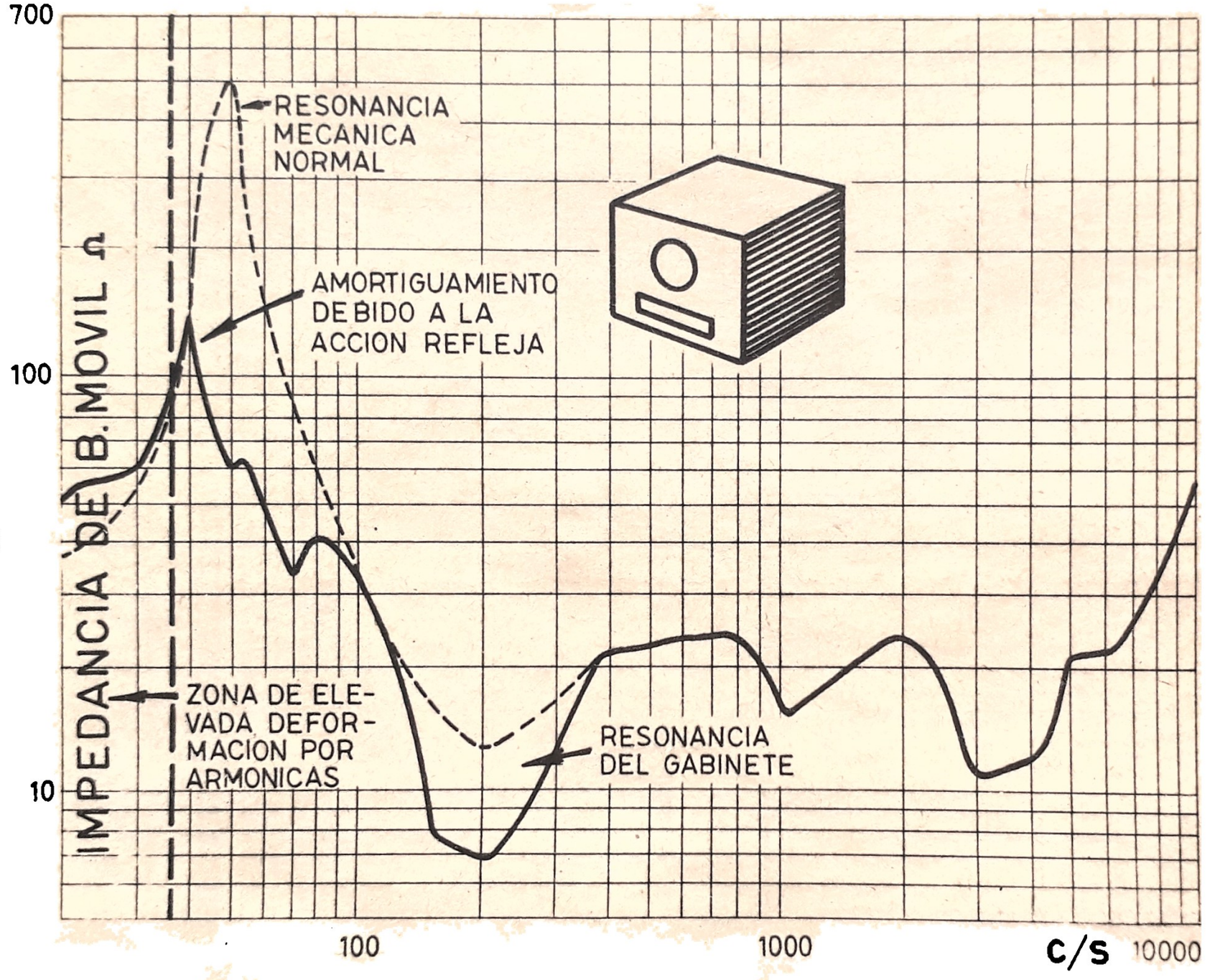


Fig. 12-C: El mismo altoparlante instalado en ***un reflector de bajos de tipo común***

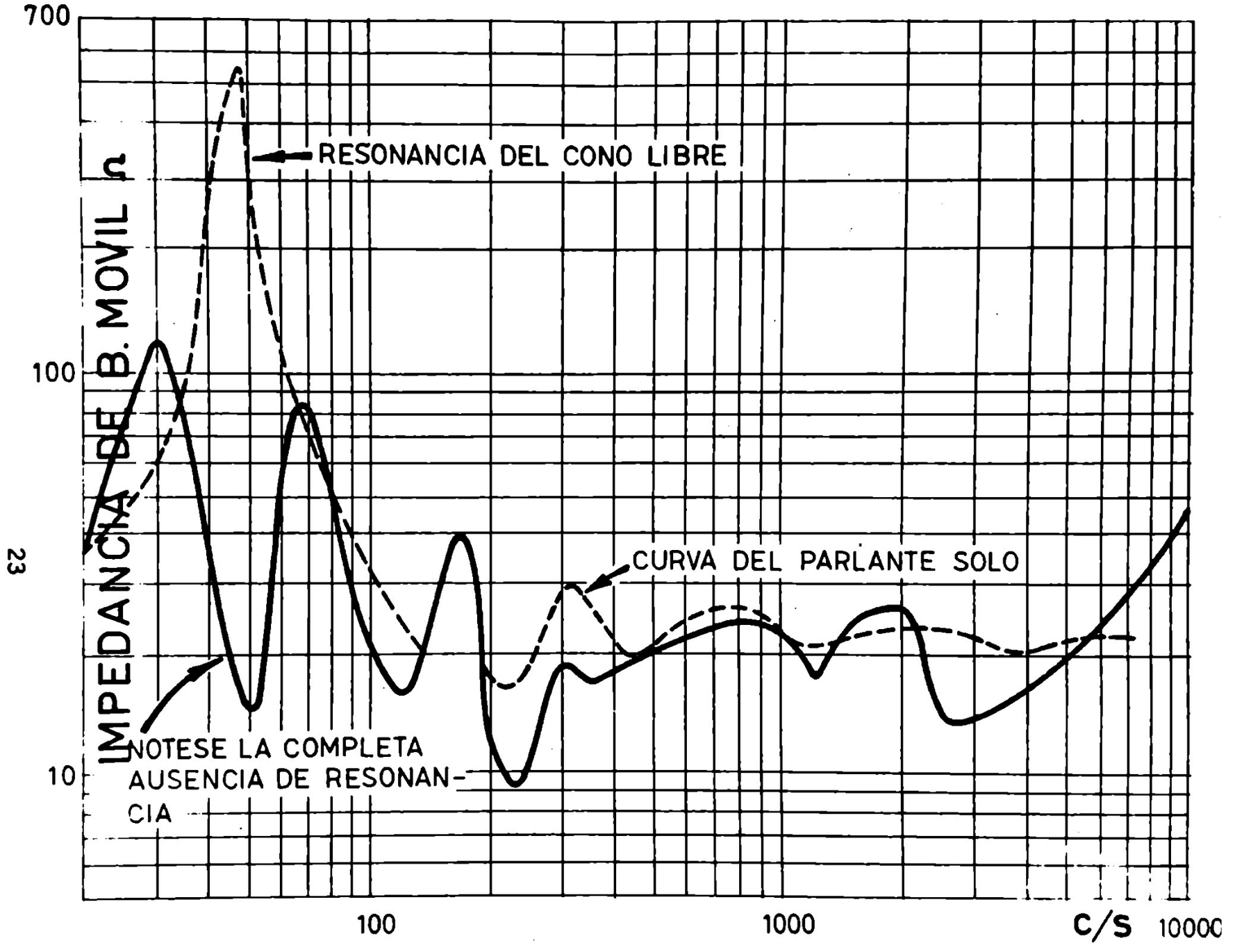


Fig. 12-D: El mismo altoparlante colocado en el gabinete Karlson. A) curva del parlante solo; B) obsérvese la ausencia total de resonancias; C) resonancia del cono libre

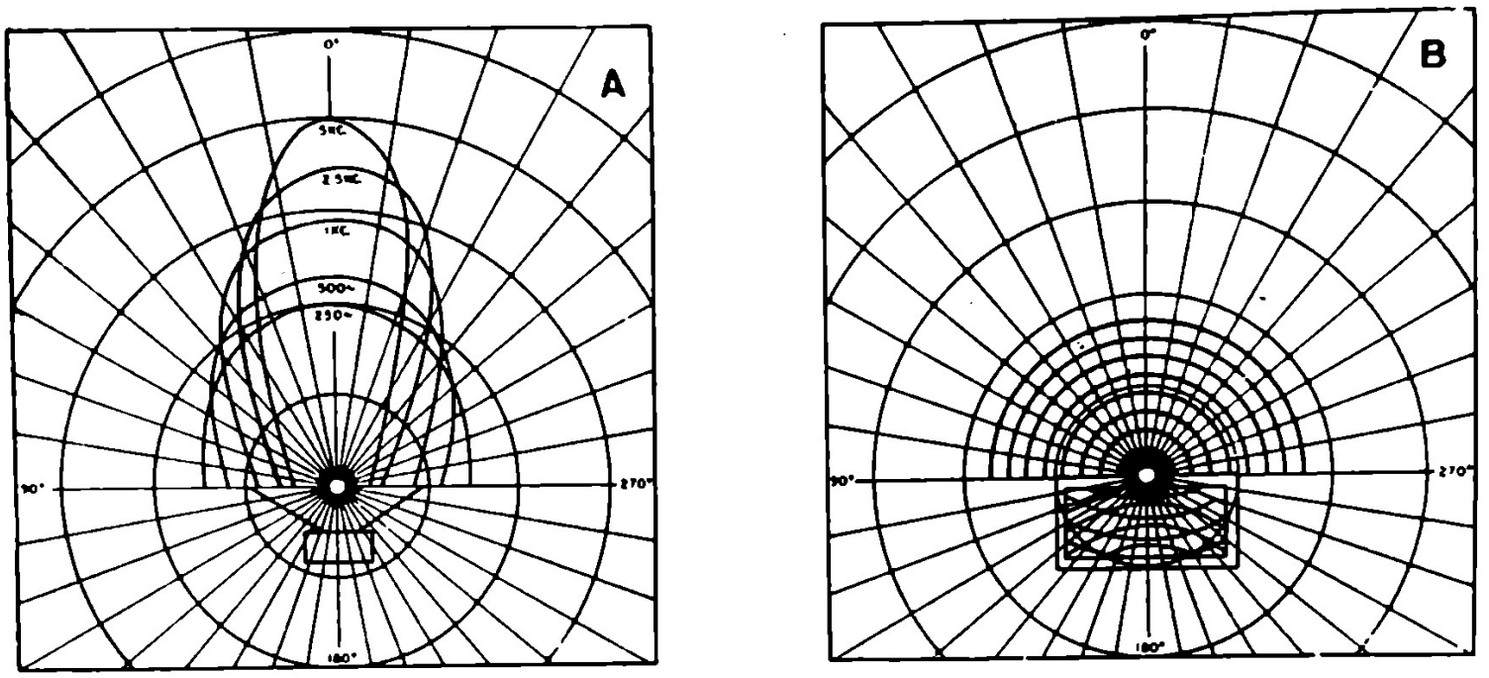


Fig. 13-A: Respuesta relativa utilizando una salida acústica constante para un altoparlante de radiación directa de 37 cm de diámetro. Con fines de simplificación, se han omitido los lóbulos laterales. A la derecha: característica de dispersión uniforme de la hendidura, en función de la frecuencia

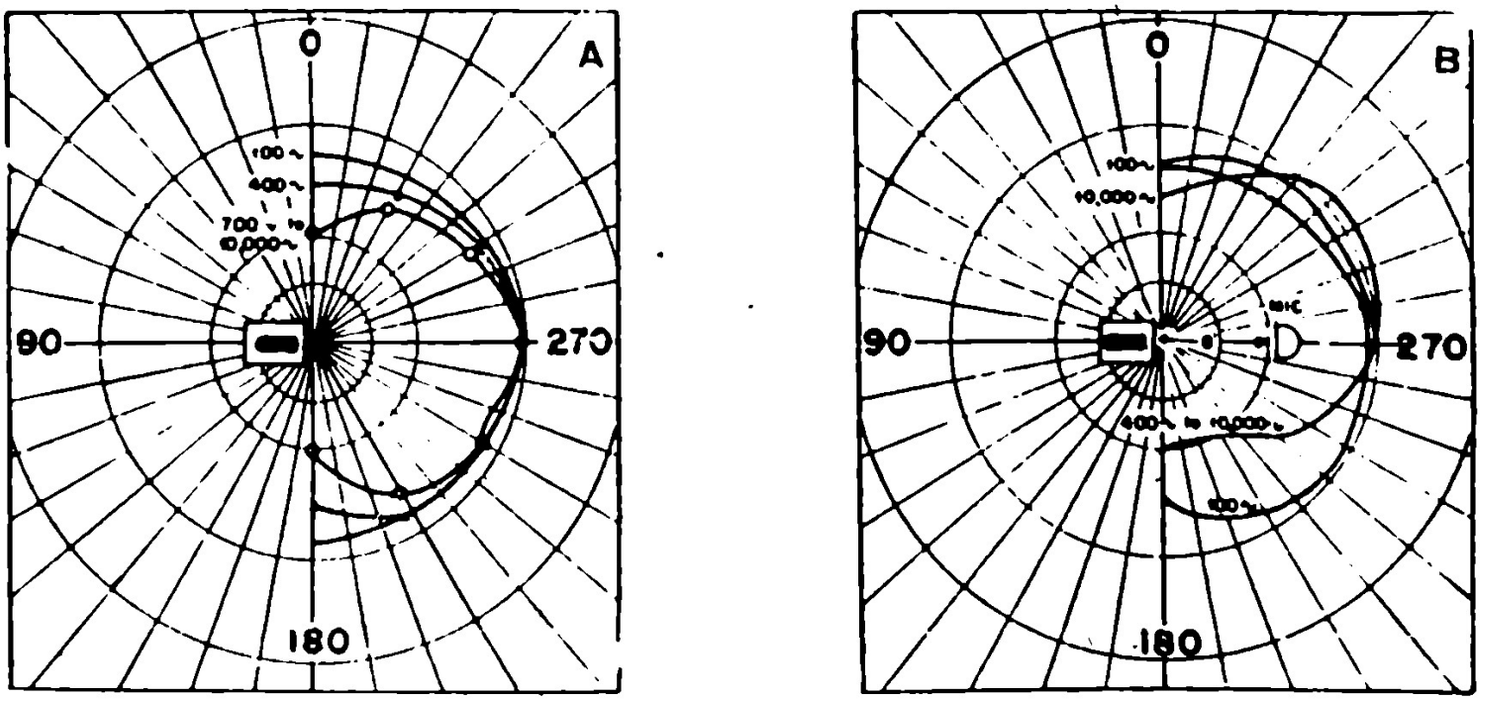


Fig. 13-B: Gráfico de radiación del sonido por el sistema polar: A) para el plano horizontal; b) para el plano vertical

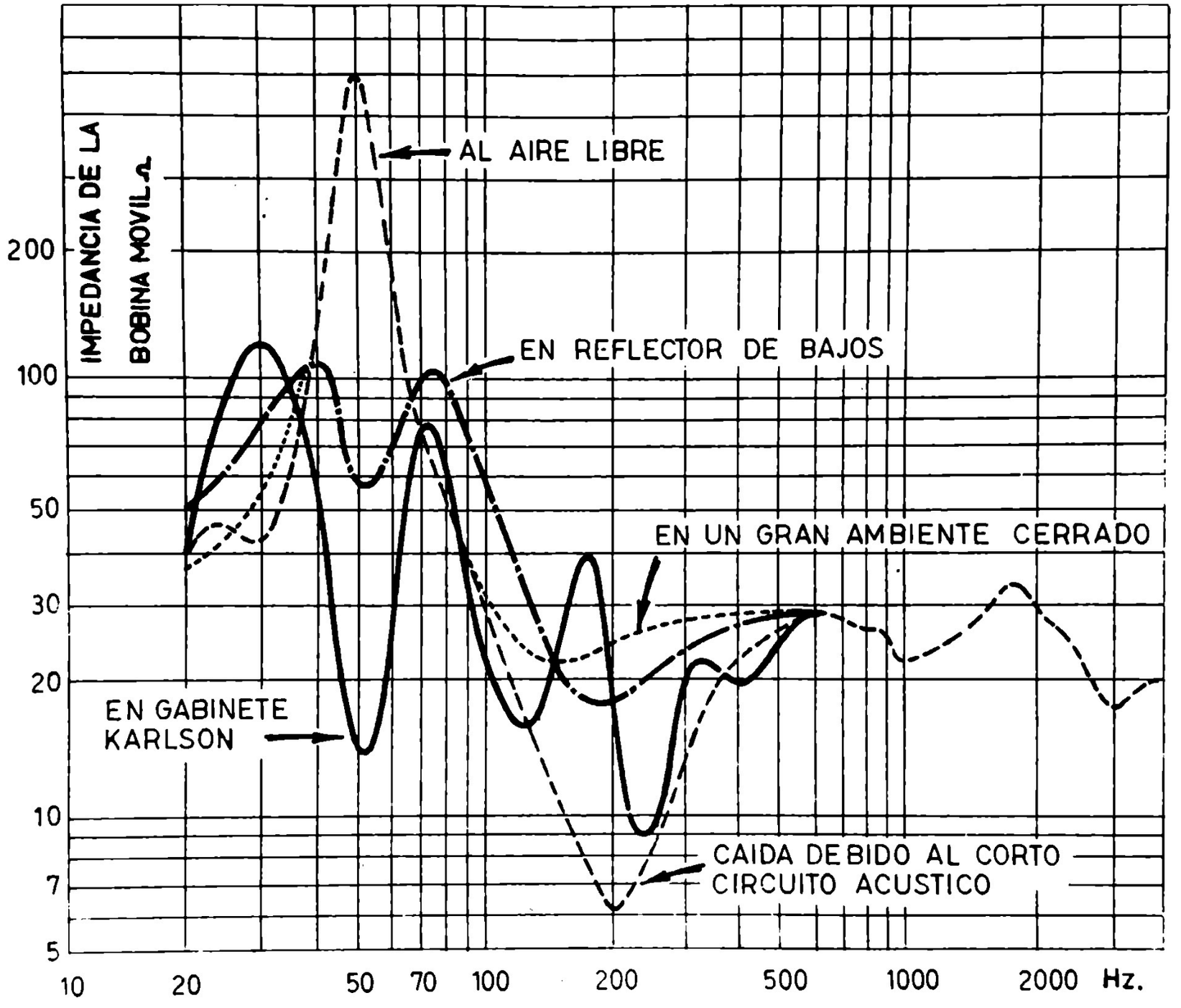
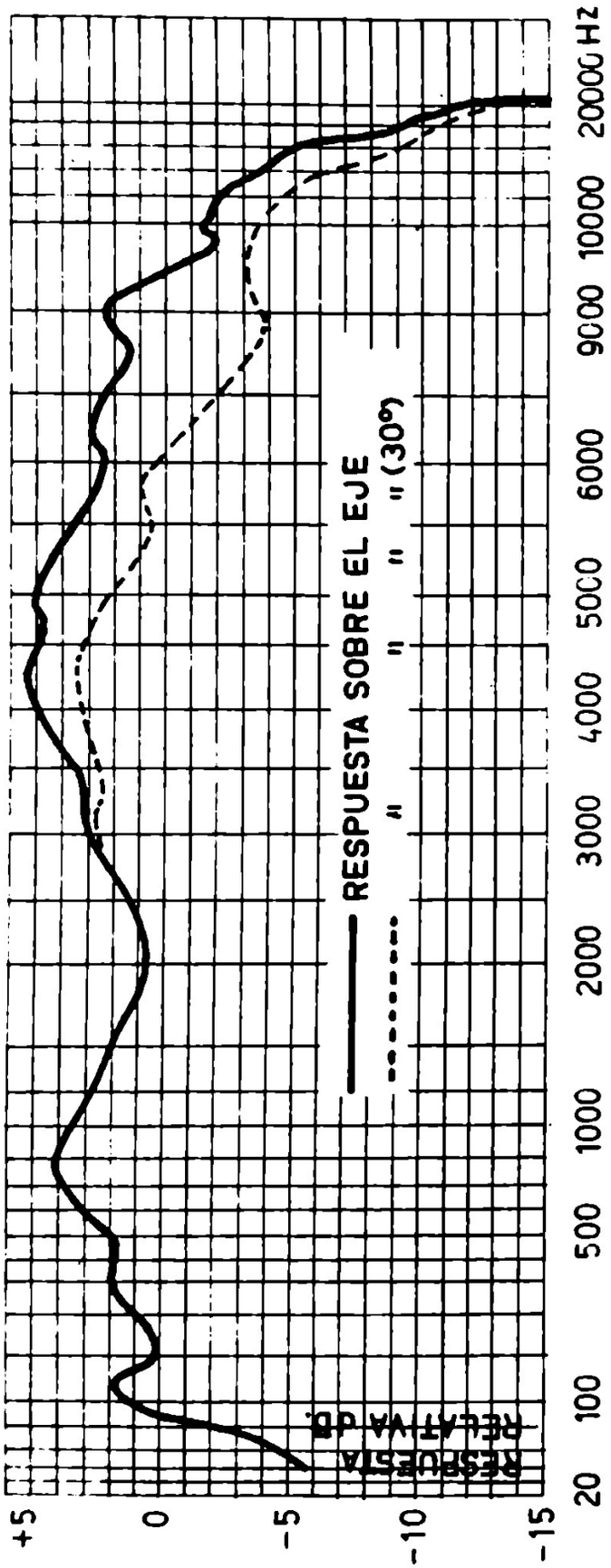


Fig. 15: Impedancia de la bobina móvil del altoparlante colocado en diversos tipos de gabinetes. Compárese con el Karlson



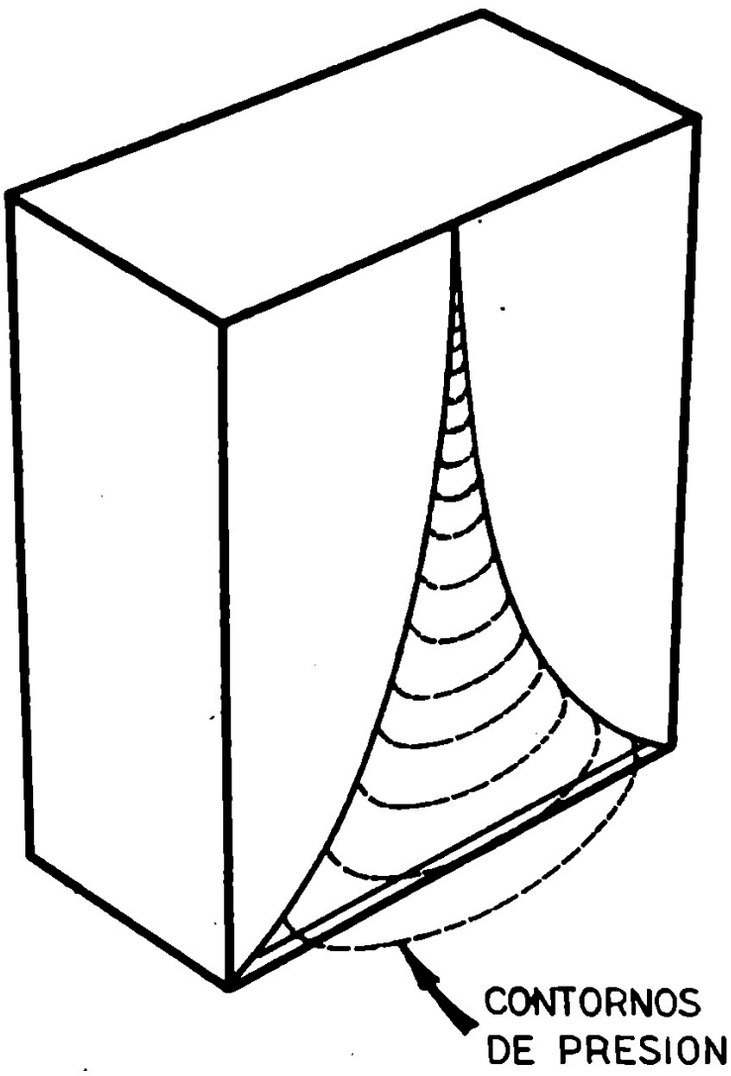
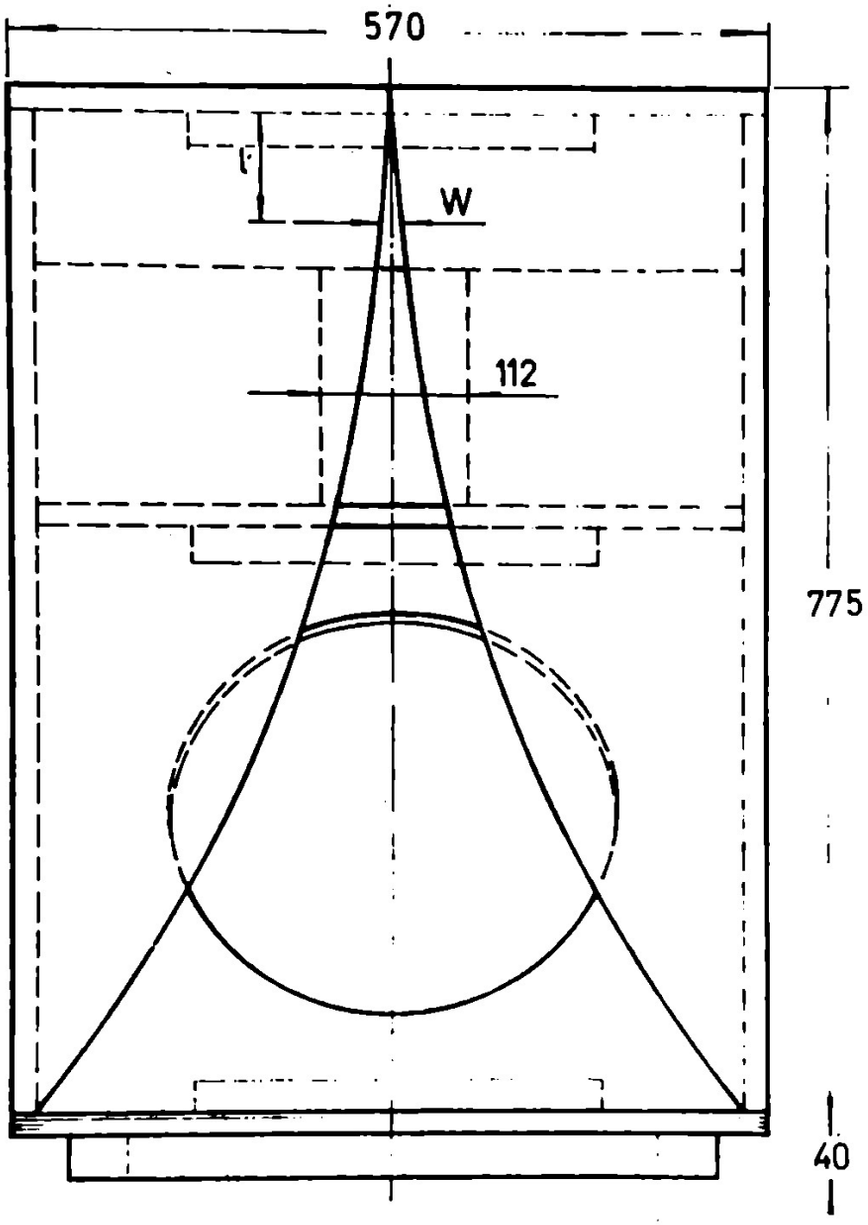
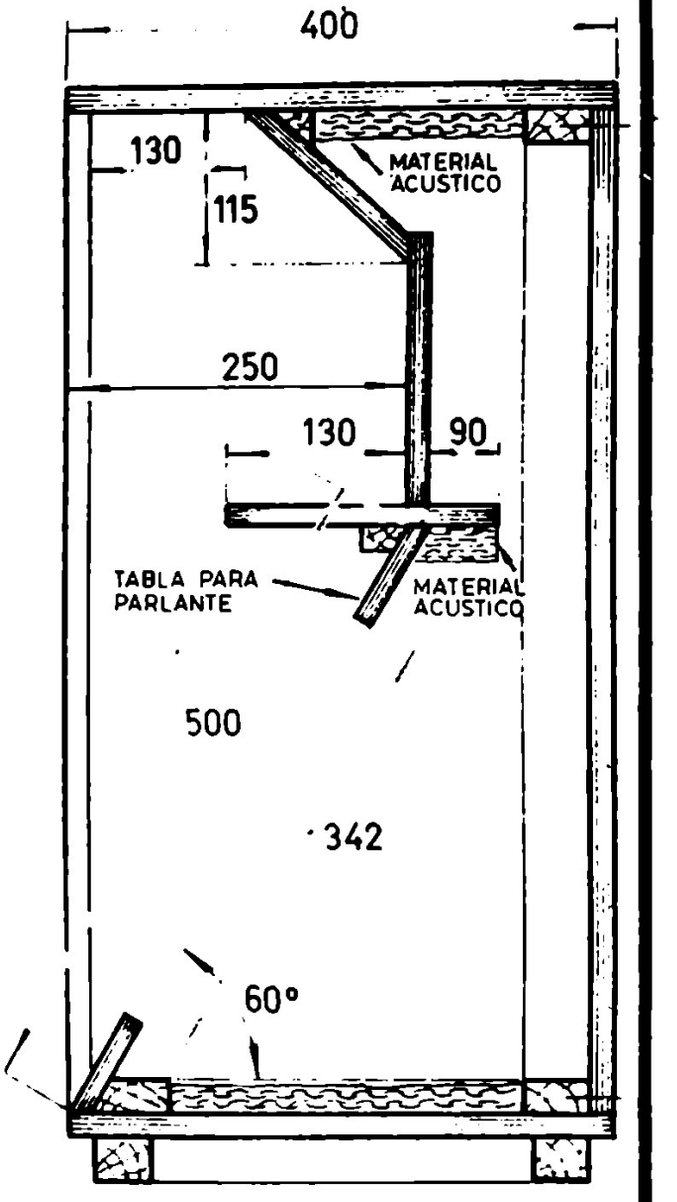


Fig. 14: Curva de respuesta a frecuencias del gabinete Karlson

través del mismo emplazamiento del parlante.

Como resultado de una serie de experiencias, *Karlson* ha mejorado su gabinete para 15" (38 cm), eliminando cierta cantidad de crestas en el rango medio. Las modificaciones introducidas son muy sencillas (fig. 18) (B), pudiendo verse que el tablero horizontal tiene ahora una longitud de 10½" contra 9" antes; la distancia desde el borde anterior del tablero horizontal a las piezas verticales que conforman la ventanilla es de 5¾", contra 5¼" de antes.





Figs. 17-18: Detalles de construcción del gabinete Karlson. Obsérvese la nueva hendidura exponencial aconsejada

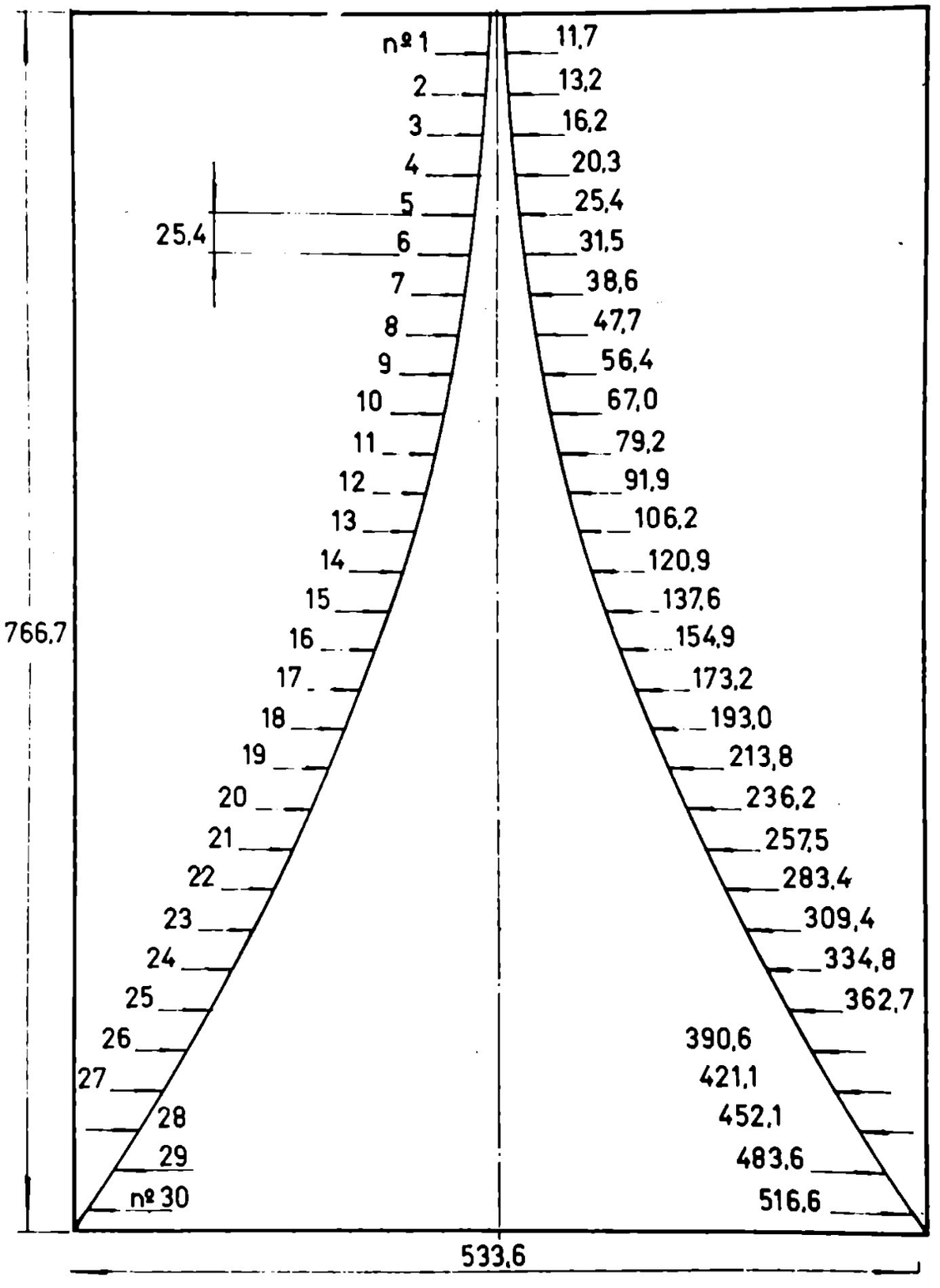


Fig. 18-B: Medidas para la construcción de la abertura exponencial

Es muy importante que toda la madera de la cámara anterior sea muy dura y bien pulida, cubriéndose con no menos de 3-4 capas de laca, para no producir pérdidas de agudos.

EL GABINETE KLIPSCH-REBEL

Desde que *P. W. Klipsch* tuvo, en 1941, la idea de construir un gabinete de dimensiones reducidas que permitiese, colocado en un rincón de la habitación, aprovechar las paredes para suministrar una efectiva carga por bocina a la parte posterior del parlante, son muchos los proyectos que se han elaborado sobre la base de esa idea. Sin embargo, no todos los gabinetes tipo rinconera deben considerarse como bocinas plegadas, puesto que algunos de ellos son, en realidad, reflectores de bajos, con carga por bocina sobre la ventanilla, siendo similares, en ese sentido, al *Diffusicone* que hemos descripto más atrás, con la única diferencia de que en el segundo caso la bocina está construida en el mismo mueble, en tanto que en el primero el mueble no contiene más que el reflector de bajos, siendo las paredes laterales de la habitación las que suministran el efecto de bocina.

Una de las versiones más conocidas de esta original y económica idea, es el *Rebel*, de la compañía *G. y H. Wood Products* (Cabinart), construido bajo licencia *Klipsch* [1]. La denominación *Rebel* (rebelde, en inglés) fue elegida porque el proyecto en cuestión implica una rebelión contra los sistemas resonantes comunes. En la fig. 19 puede apreciarse la disposición básica de este gabinete, y en la 20 todos los detalles y medidas. Obsérvese que la ventanilla sintonizadora se halla en la parte posterior de la campana que forma el reflector de bajos propiamente dicho. Una tabla, acoplada a la parte superior, permite que, una vez apoyada la misma contra el rincón de la habitación, la ventanilla no quede pegada contra la pared, sino que se establezca un espacio que, pro-

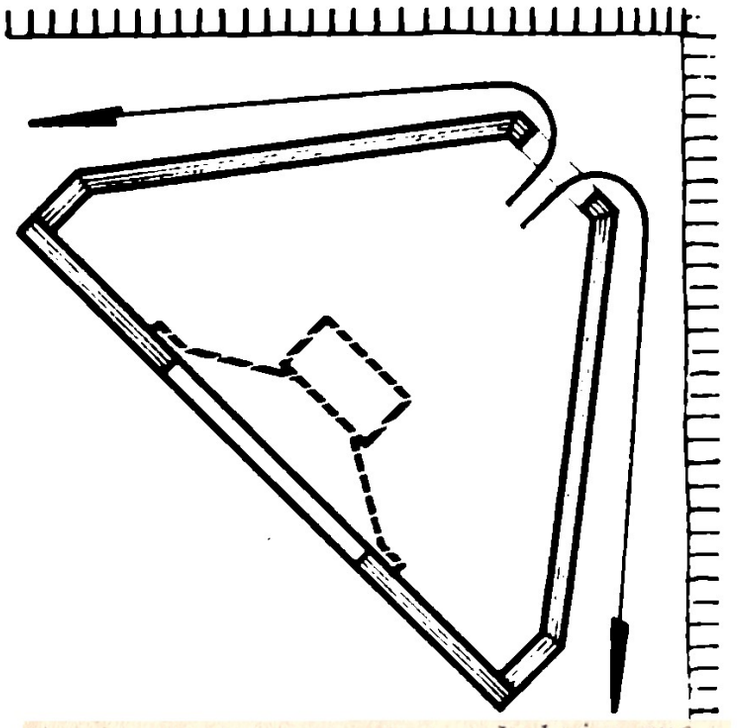


Fig. 19: Gabinete reflector de bajos que aprovecha un rincón de la habitación para ofrecer una carga por bocina sobre la ventanilla reflectora posterior

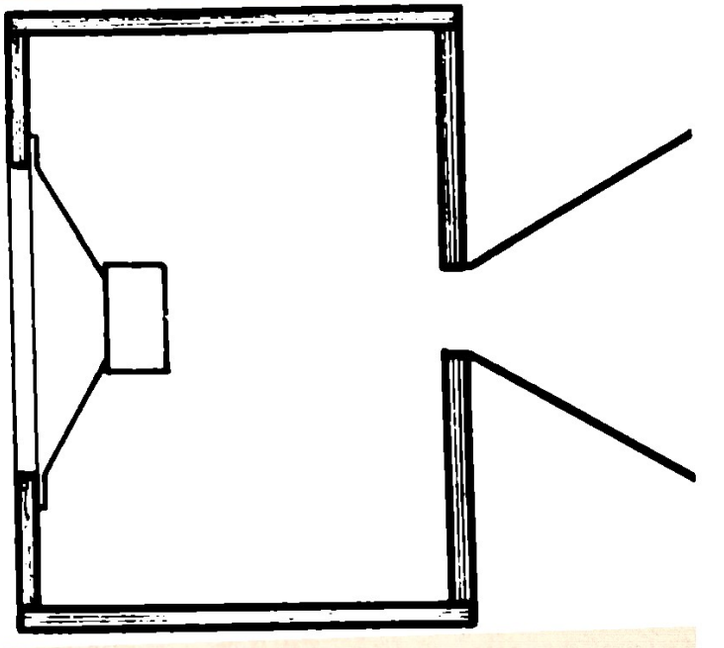
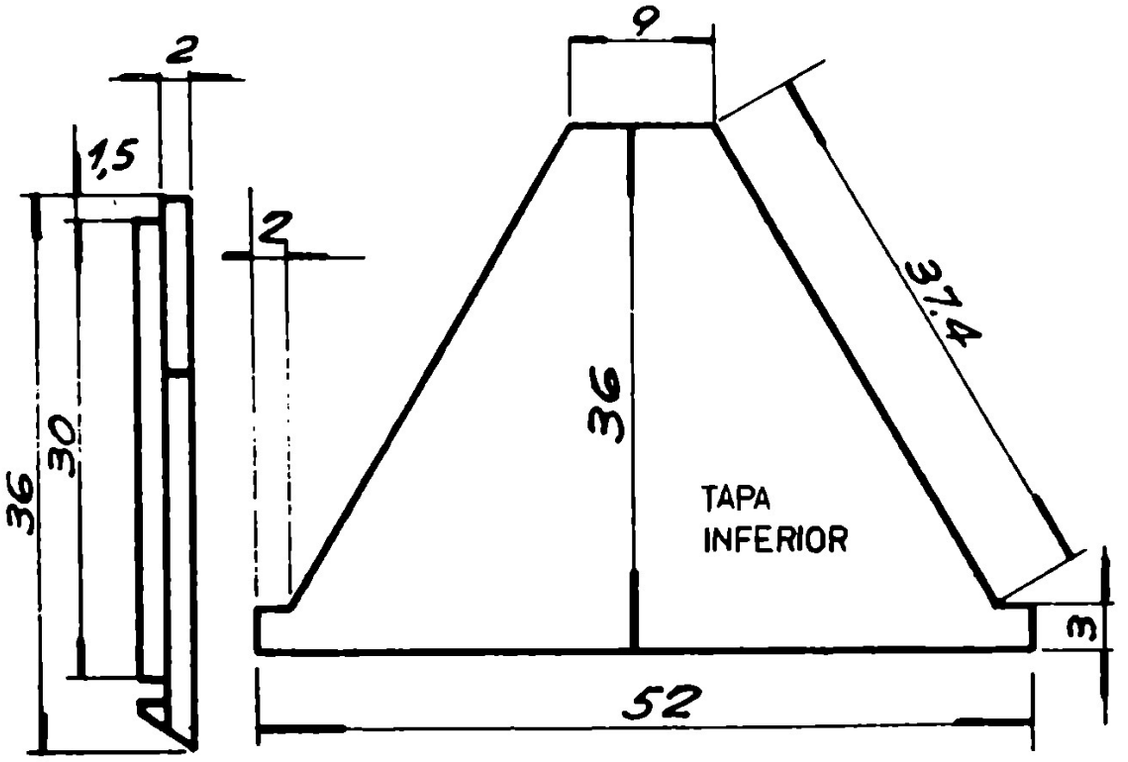
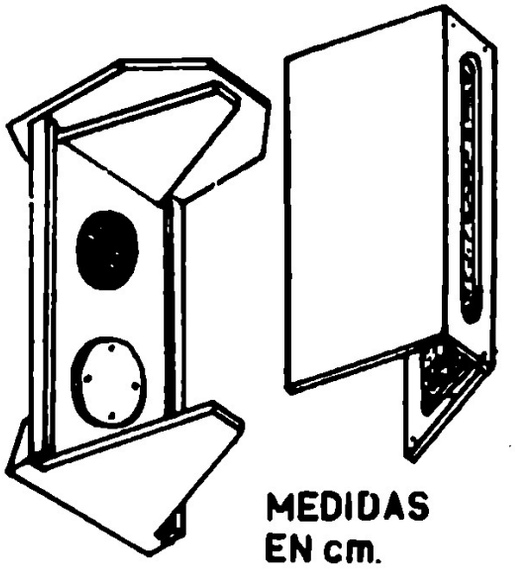


Fig. 20: El gabinete de la figura anterior puede ser considerada como equivalente al que se expone en este diagrama





MONTAJE DE LA
BOCINA TRASERA

MEDIDAS
EN cm.

Fig. 21-A: Detalles completos para la construcción de un gabinete Rebel IV

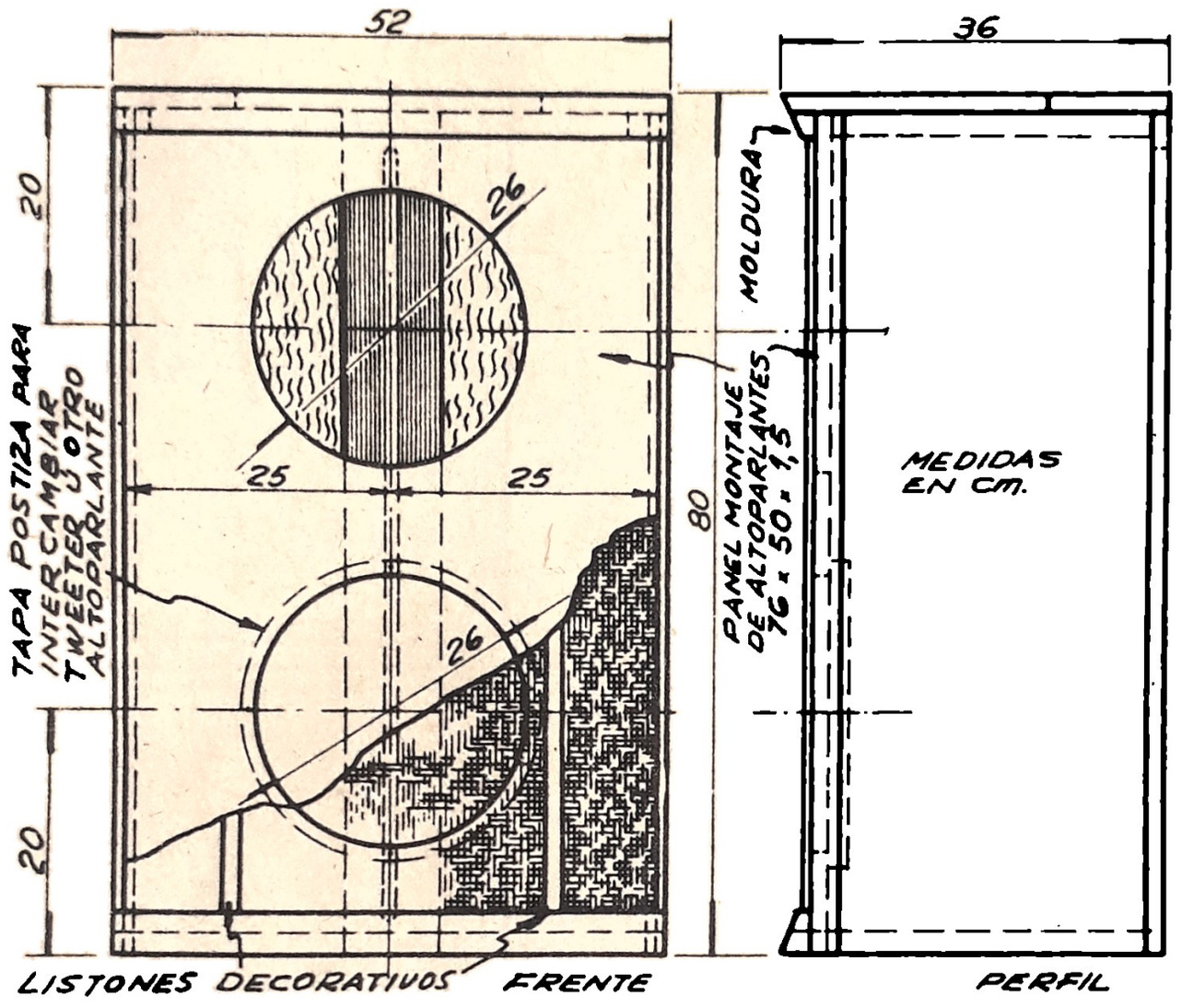


Fig. 21-B: Detalles complementarios para la construcción del gabinete Rebel IV

longándose a ambos lados, forme la bocina. La ventanilla reflectora tiene sólo 12 mm de ancho y 72,5 cm de largo, y conjuntamente con la cavidad y la bocina provee una respuesta en bajos por debajo de los 100 Hz.

Es preferible montar el parlante para graves en la parte inferior, de manera que la distribución espacial y la absorción de las frecuencias más elevadas no se vean afectadas por la presencia de alfombras, muebles, paredes, etc.

En realidad, el gabinete que estamos describiendo constituye el cuarto de la serie ("Rebel IV"). El primero era de construcción sumamente complicada y de tamaño excesivamente grande. Sucesivas reducciones y simplificaciones condujeron al modelo expuesto en la fig. 21, que ofrece el mayor comportamiento que es posible obtener con un volumen reducido de caja. Es evidente que no se obtendrá una gran potencia

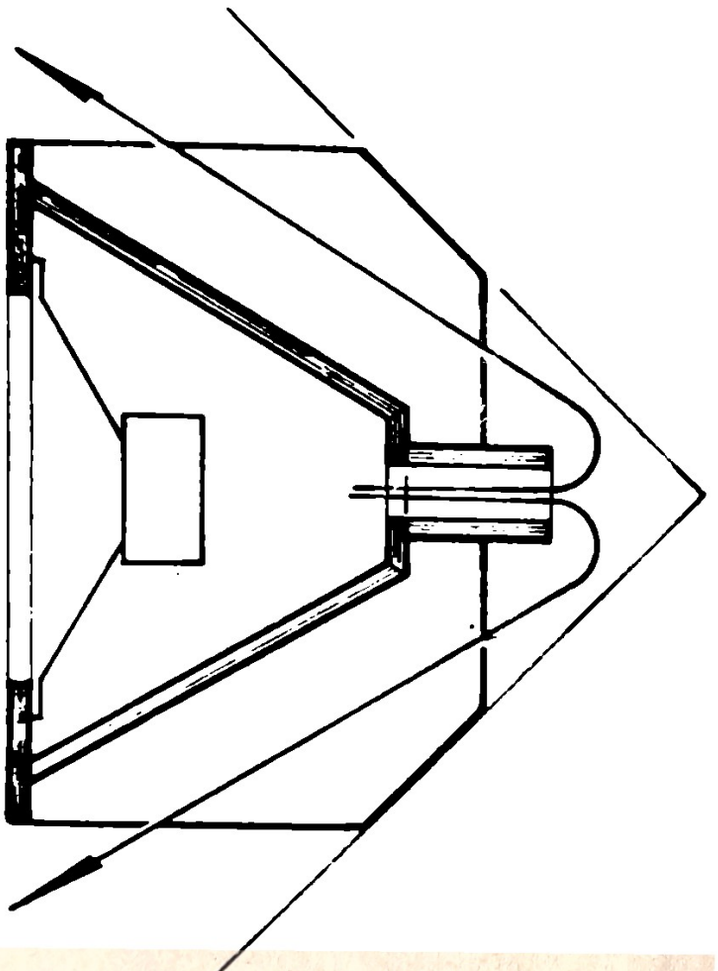


Fig. 22: El gabinete Rebel KR posee un túnel agregado a la ventanilla posterior. En el resto es idéntico al gabinete Rebel IV

en bajos, como es el caso del *Klipsch* original ("Klipschorn"), pero sí una respuesta sumamente plana y libre de deformación, adecuada para la reproducción de voz y música que no contiene bajos muy pronunciados.

El "Rebel V" es idéntico al "IV", con la diferencia de que posee su propia bocina de acoplamiento a la boca del reflector de bajos. En una palabra, este gabinete, si bien resulta más costoso que el modelo anterior,

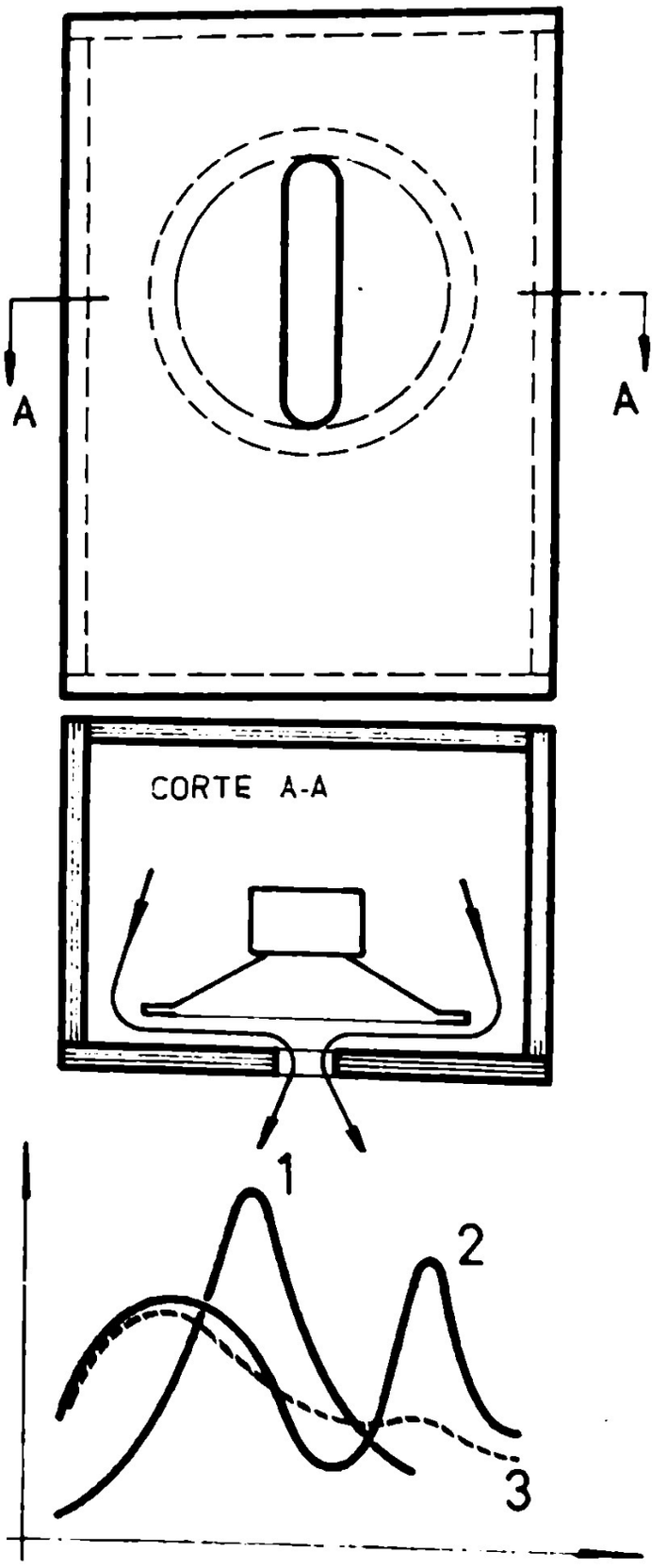


Fig. 23-A: Detalles de construcción del gabinete reflector de bajos R-J

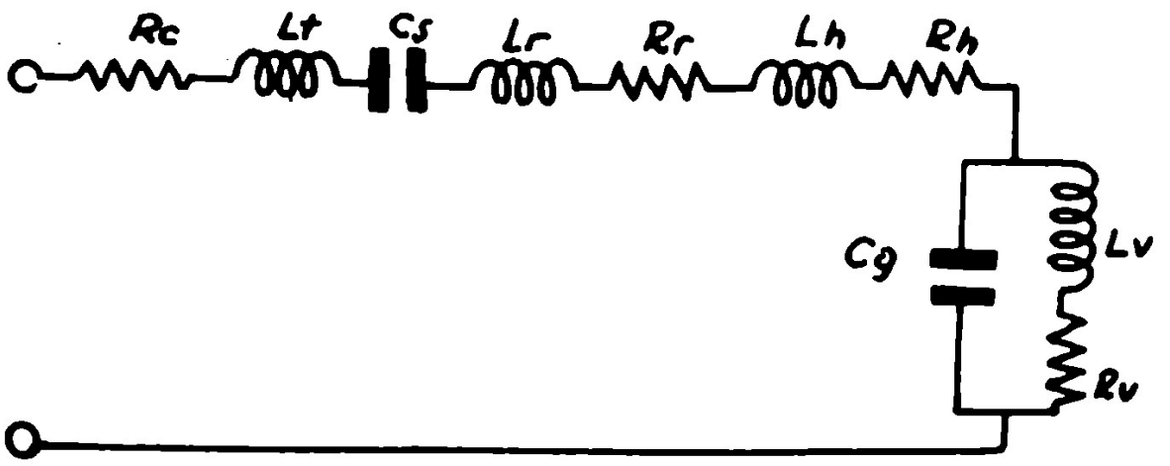


Fig. 23-B: Circuito equivalente eléctrico del sistema mecánico del gabinete R-J

tiene la ventaja de no depender de las paredes para la formación de la bocina, pudiendo aplicarse, si así se desea, en el centro de una de las paredes, ya que no se trata de un gabinete exclusivamente rinconero, como es el caso del "Rebel IV". Desde luego que las mejores condiciones se obtendrán colocando al gabinete en un rincón, hecho que agrega media octava de bajos. Debido a la pequeñez de la bocina real incluida en el gabinete, se conoce al mismo con la denominación comercial "Shorthorn" (bocina corta, en inglés). El "Rebel V" posee aproximadamente la mitad de volumen que el "Rebel III", suministrando también una frecuencia baja que posee la mitad de longitud de onda. La atenuación en bajos se produce a los 50, 60 y 90 Hz para los modelos *Rebel III*, *IV* y *V*, respectivamente.

Según *Klipsch*, el ajuste de la ventanilla debe efectuarse de la siguiente manera: se observa en un osciloscopio la frecuencia a la cual la salida de bajos y la deformación es máxima; luego se va ajustando la ventanilla hasta conseguir que la deformación sea mínima. Este ajuste no toma en cuenta la respuesta a frecuencias, pero se ha demostrado que el ajuste para deformación mínima suministra, asimismo, la respuesta óptima a frecuencias. Si se permite que el filtro acústico (cámara - ventanilla) pase más energía, para aumentar los bajos, se producirá una cresta de resonancia, tal como sucede en los sistemas resonantes comunes, con la consiguiente deformación. En los *Rebel*, este efecto de resonancia se ha reducido al mínimo, equilibrando la energía entregada por la cámara con la impedancia de la garganta de la bocina que, en el caso de una bocina corta, exhibe una curva de impedancia que aumenta rápidamente con la frecuencia, en el extremo de las frecuencias menores del espectro.

Como puede deducirse, sólo en parte puede considerarse a los *Rebel* como reflectores de bajos, puesto que el concepto del ajuste de la ventanilla es completamente distinto en ambos casos. De cualquier modo, no debe confundirse a la cámara de aire de los *Rebel* con la cámara de aire de algunas bocinas plegadas, puesto que en estas últimas, su pequeño volumen hace que se comporten como cámaras de compresión y filtro acústico, en tanto que en el *Rebel* el volumen es suficiente para actuar en parte como cámara de bajos de un reflector.

Resumiendo, el *Rebel* constituye otra tentativa de reducir la cresta de la frecuencia (f2) y aplanar la curva de respuesta a frecuencias, característica del reflector de ba-

jos común, pero a diferencia de otras tentativas (Gabinete RJ, ventanilla cargada por fricción, etc.) se compensa la pérdida de rendimiento con el agregado de la carga posterior por bocina.

En la fig. 22 puede verse el *Klipsch-Rebel KR-5*, similar al *Rebel IV*, pero con el agregado de un túnel en la embocadura de la ventanilla posterior, característica que permite reducir más aún las dimensiones del gabinete, que son las siguientes: ancho (42,2 cm), fondo (35,5 cm), altura (53,3 cm).

EL GABINETE RJ

Una de las soluciones más interesantes para reducir el volumen del reflector de bajos común, es el gabinete acústico de *Robbins* y *Joseph*, popularizado con la denominación de *Gabinete RJ*. Los experimentadores mencionados han aprovechado las siguientes características del reflector de bajos:

a) no es imprescindible que la ventanilla reflectora sea rectangular, pudiendo utilizarse cualquier otra forma, incluso la circular;
b) la distancia desde el orificio del parlante a la ventanilla no es crítica, puesto que si bien algunos autores aconsejan colocar ambos orificios sumamente cerca uno de otro, con el fin de aumentar el rendimiento, aprovechando el acoplamiento de radiación mutua, otros autores aseguran que la experiencia y las comprobaciones han demostrado que tal efecto es de menor cuantía, pudiendo despreciarse;
c) el volumen del gabinete se reduce introduciendo un túnel sobre la ventanilla.

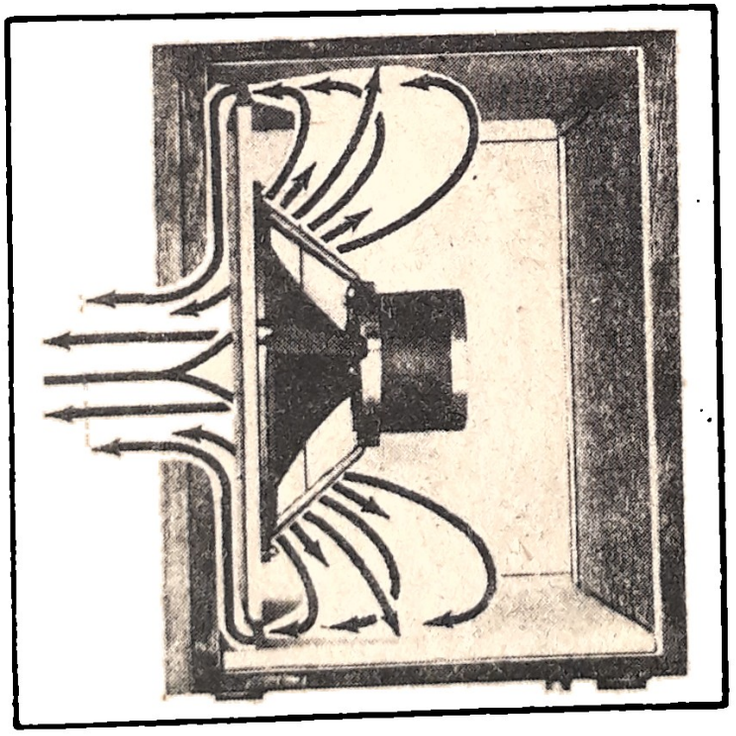


Fig. 24-A: Salida de las ondas anterior y posterior en el caso del gabinete R-J

A estas tres características, *Robbins* y *Joseph* agregaron una cuarta: el llamado *"principio de la hendidura frontal"*, que pasaremos a describir. Si montamos el parlante de modo tal que no mire hacia un orificio circular, como es lo normal, sino hacia una angosta hendidura vertical, se producirá un aumento de la masa de carga del aire y de la resistencia friccional, las que por hallarse en serie en el circuito equivalente (L_h y Rh) producen una reducción de la frecuencia y amplitud de la resonancia. En consecuencia, puede construirse un gabinete como el que se expone en la fig. 23 (A) cuyo circuito equivalente es el que se presenta en (B). De las dos frecuencias de resonancia (f1 y f2), la más baja dependerá de R_c, L_t, C_g, L_r, Rr, Lh, Rh, L_v, R_v en serie, en tanto que la más alta dependerá de R_c, L_t, C_g, L_r, Rh, Lv, Rh, Cg en serie. Como la impedancia de *L*r y *R*v es mucho más alta que la de *M*h y *R*, esta última tendrá un mayor efecto sobre f_2 que sobre f_1. Por ello, el empleo de carga por hendidura tiende a eliminar la excesiva prominencia de f_2 cuando f_1 es fuertemente

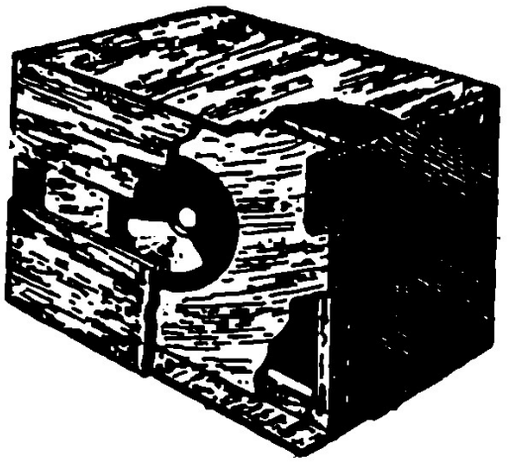


Fig. 24-B: La hendidura frente al altoparlante puede ser horizontal

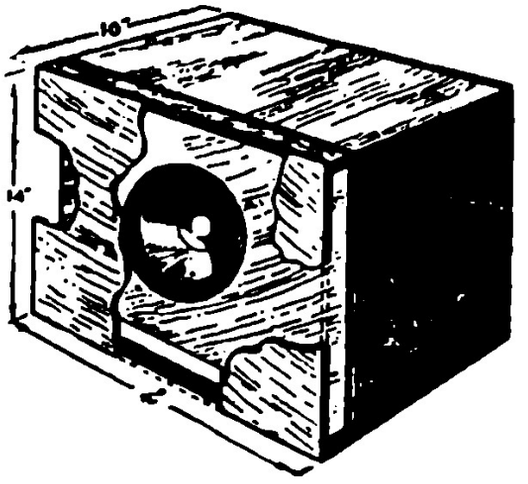


Fig. 24-C: Las hendiduras, asimismo, pueden ser dos, colocadas lateralmente, como se muestra en la figura

amortiguada mediante el empleo de un pequeño túnel resistivo. La hendidura puede ser horizontal, en lugar de vertical y hasta pueden colocarse dos hendiduras como se muestra en la fig. 24 (C) lateralmente, frente al parlante.

La desventaja más importante que se atribuye a la carga por hendidura, es que la cavidad formada entre el cono y las caras de la hendidura, junto con la hendidura misma, forma un resonador de *Helmholtz* que, según las dimensiones, será muy activo en las frecuencias del registro medio. Además, se producirán serias irregularidades en esta banda de frecuencias, debido a las ondas estacionarias que tienen lugar entre la superficie del cono y la cara interna de la hendidura. Por ello, el empleo de hendiduras más allá de los 200 a 300 Hz es poco satisfactorio.

Estas desventajas han sido superadas por *Robbins* y *Joseph*, en su proyecto, disponiendo al efecto un gabinete con un orificio único, que sirve simultáneamente para la salida de las ondas anterior y posterior. El parlante está montado sobre un tablero independiente, inmediatamente detrás del frente, siendo el orificio para el cono de forma circular; en cambio, para el orificio frontal se emplea, en lugar de una hendidura, una abertura en forma de "limón", tal como se expone en la fig. 25, que puede dibujarse trazando, previamente, un rombo y redondeando, luego, los extremos hasta obtener la forma deseada. La diagonal menor deberá estar a 15 grados de la vertical y su longitud será un medio de la diagonal mayor. En cuanto a la superficie encerrada, la misma deberá ser igual a la del orificio del altoparlante. Una buena idea consiste en efectuar el dibujo sobre una cartulina cuadriculada, recortarlo y, luego, transferir el dibujo a la madera (fig. 25). Con respecto a la distancia entre el frente del gabinete y el tablero del parlante, su ajuste se efectuará experimentalmente, teniendo en cuenta que cuando la distancia es cero (tablero del parlante completamente apoyado contra la parte posterior del frente) el gabinete se convertirá en una caja cerrada. Al ir separándose ambos tableros, la caja se irá convirtiendo en un reflector de bajos, introduciéndose resistencia e inductancia en el circuito eléctrico equivalente, representadas por la resistencia y la masa del aire de la hendidura formada entre los dos ta-

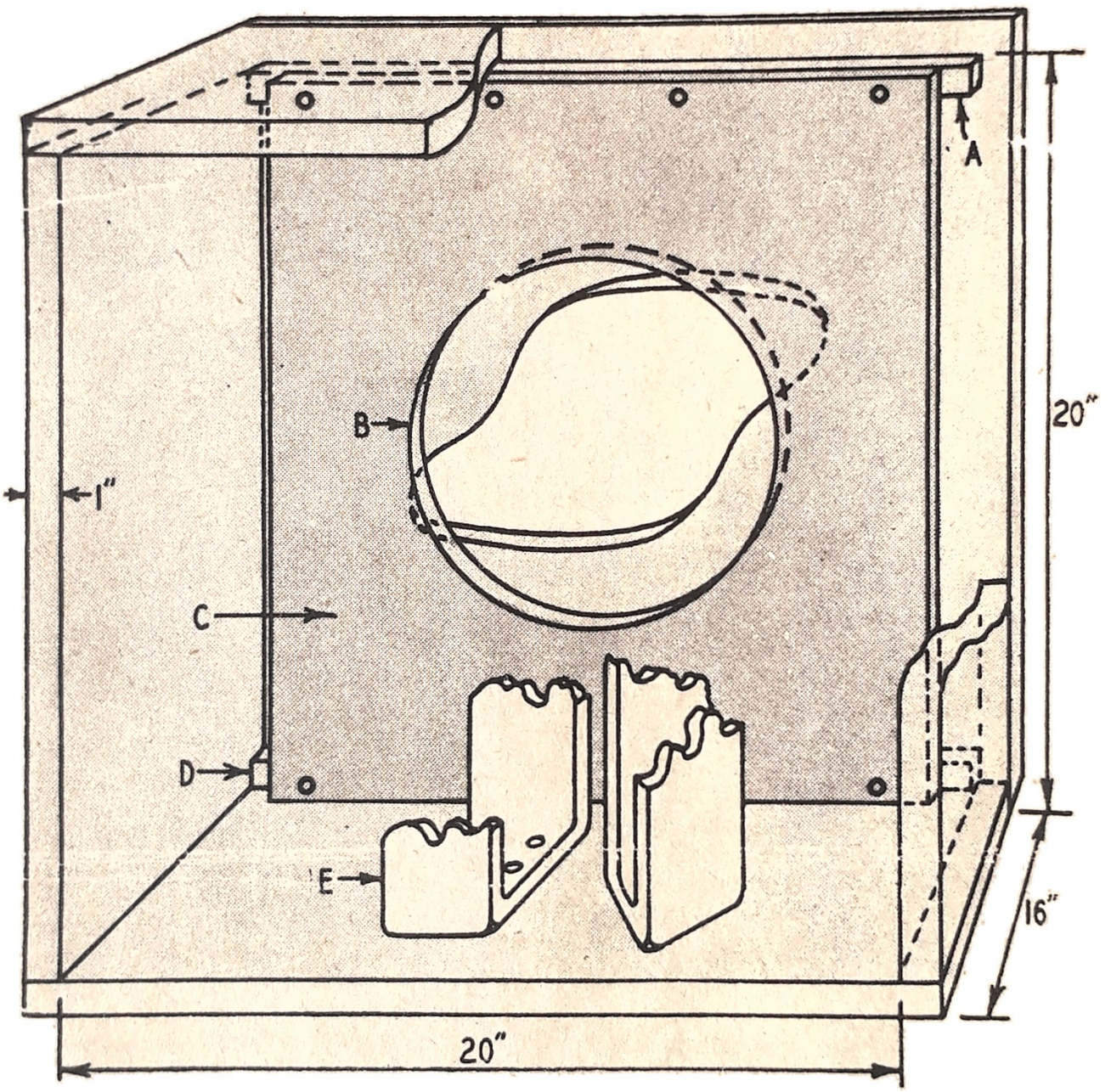


Fig. 25: Aspectos constructivos del gabinete R-J (visto desde atrás), para altoparlantes de 30 cm (12"): A) espaciador de 3" x 3/4" x 20"; B) orificio para el altoparlante; c) tablero para el sosten del altoparlante: 18" x 20" x 3/4"; D) espaciador

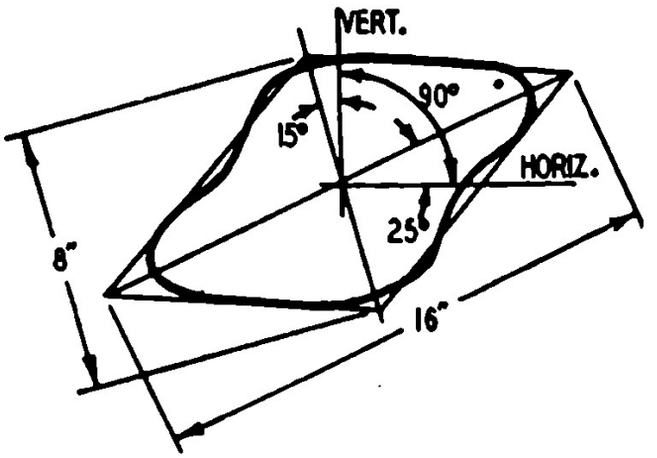


Fig. 26: Cómo puede dibujarse el corte del tablero en forma de "limón" alargado, para el gabinete R-J

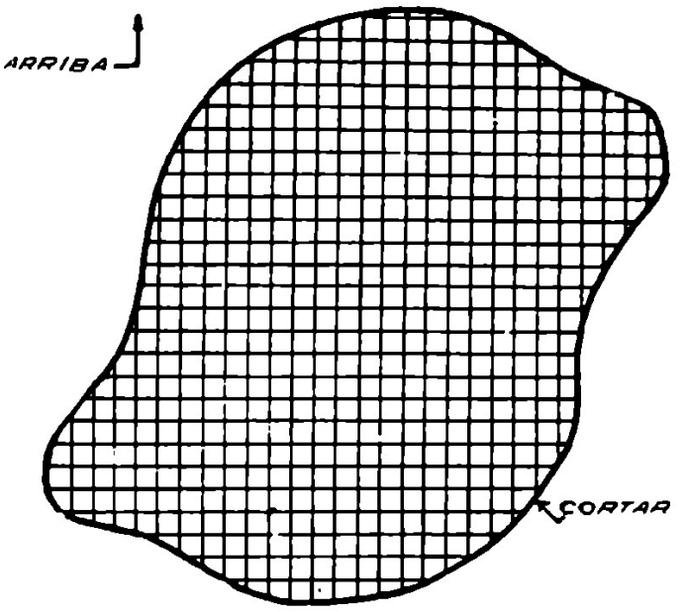


Fig. 27: Cuadrícula para dibujar con más facilidad la forma del orificio en "limón" del gabinete R-J

bleros. Sin embargo, lo que constituye una diferencia con el reflector de bajos común, es que el gabinete RJ no sólo impone una carga sobre la parte posterior del cono sino, asimismo, sobre la parte anterior. Esto hace que el amortiguamiento sea sumamente efectivo, aunque, desde luego, a expensas de una reducción en el rendimiento, ya que se obtiene introduciendo resistencia en el circuito y no aumentando el acoplamiento con el aire.

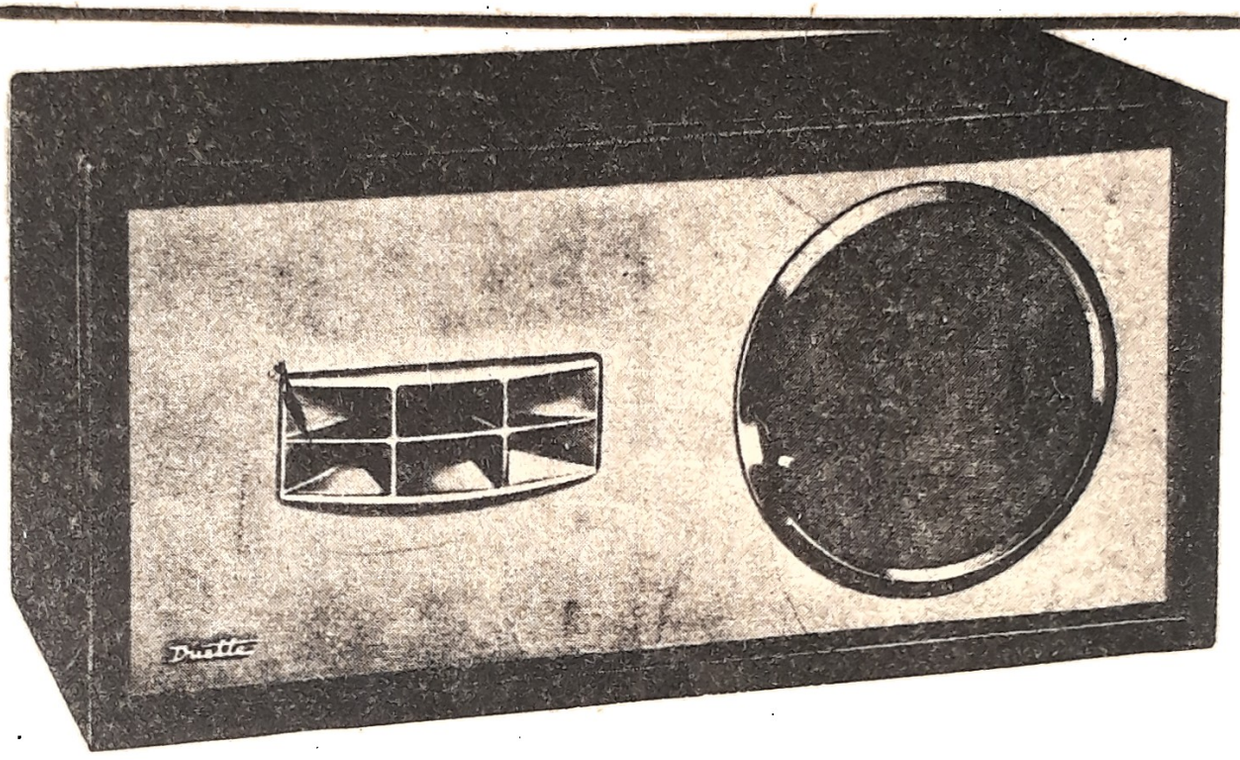
La ventaja más importante de esta versión del reflector de bajos es la reducción del volumen que es posible conseguir. Con un gabinete de 51 cm de ancho, por igual altura y 40 cm de fondo, empleando un altoparlante de 30 cm (12"), convenientemente tratado para reducir su frecuencia de resonancia a unos 55 Hz, se consigue una excelente respuesta hasta los 35 Hz. La separación entre el frente y el tablero que sostiene el parlante es de 20 mm.

Todas las paredes interiores deberán estar cubiertas con material absorbente acústico de 2,5 cm de espesor, con el fin de eliminar las ondas reflejadas; no hay que exagerar la cantidad, para no producir grandes pérdidas de bajos. Sólo se dejarán desnudas la cara interior del tablero frontal y aquella que sostiene al parlante.

El pequeño gabinete "Duette" (DU-201) de la *Compañía Jensen*, utiliza este principio del gabinete RJ, incluyendo un parlante de 20 cm (8"), separado del frente 12,7 mm (½"). Los agudos se obtienen independientemente, con una pequeña bocina colocada a un costado (fig. 28).

AJUSTE DE LOS REFLECTORES DE BAJOS

Tal como lo hemos estudiado, el reflector de bajos es un sistema resonante, actuando el gabinete mismo como circuito resonante paralelo, en tanto que el sistema mecanoacústico del parlante representa, desde el punto de vista eléctrico, un circuito resonante serie. Todo esto hace que sea necesario "sintonizar" la ventanilla para que el gabinete opere a la misma frecuencia de resonancia del cono, con el fin de obtener



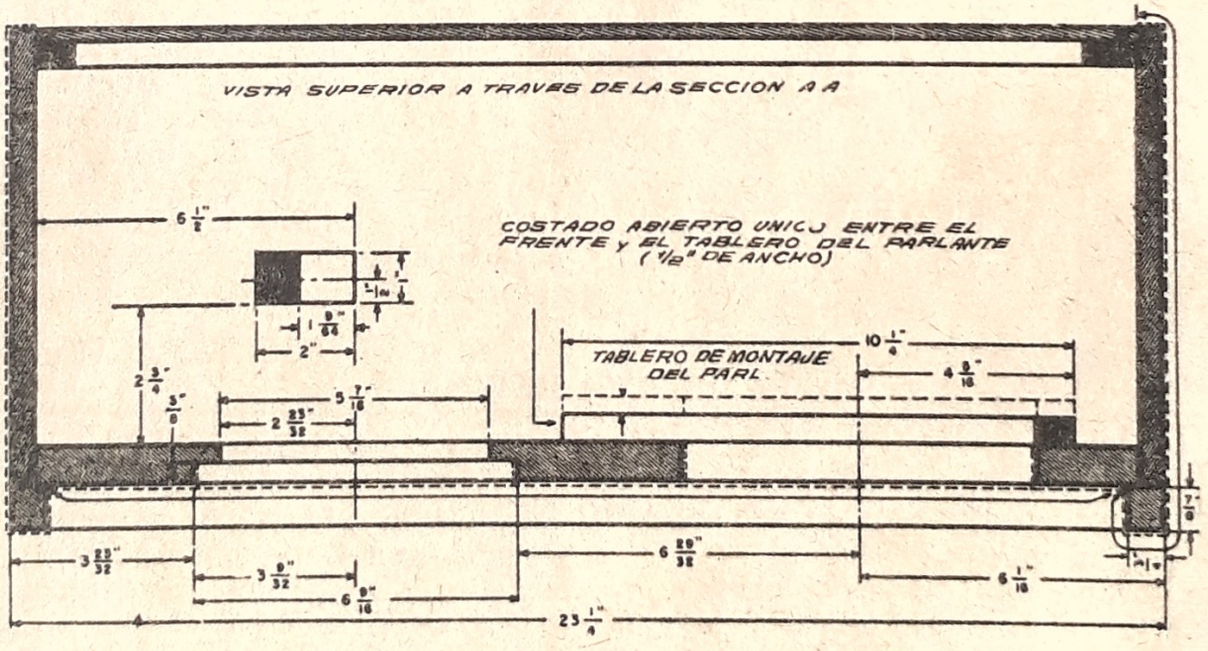


Fig. 28: Detalles del gabinete "Duette" de la compañía Jensen, que utiliza el principio de funcionamiento R-J

los beneficios estudiados (amortiguación del pico de resonancia baja del cono); sin embargo, recordemos que algunos experimentadores prefieren disponer la frecuencia de resonancia del gabinete algo por debajo de la frecuencia de resonancia del cono, puesto que en esa forma puede aumentarse el alcance de frecuencia en el extremo bajo, aun cuando a expensas de un posible peligro de duplicación de frecuencias.

Cuando el gabinete es más grande que lo necesario, resultará un poco difícil efectuar el ajuste a la frecuencia de resonancia del parlante, exigiendo una ventanilla muy grande. En estos casos, *Plach* y *Williams* aconsejan ajustar la ventanila a un tamaño de 1,5 a 2 veces la superficie efectiva del cono, con el fin de que la frecuencia de resonancia del gabinete sea menor que la del parlante.

Cuando el volumen del gabinete es más chico de lo necesario, el ajuste de la ventanilla deberá efectuarse exactamente a la frecuencia de resonancia del cono. Un gabinete excesivamente pequeño suministrará resultados pobres, debido a que la frecuencia de resonancia del gabinete será tan alta que suministrará coloración a la reproducción y mutilará la palabra.

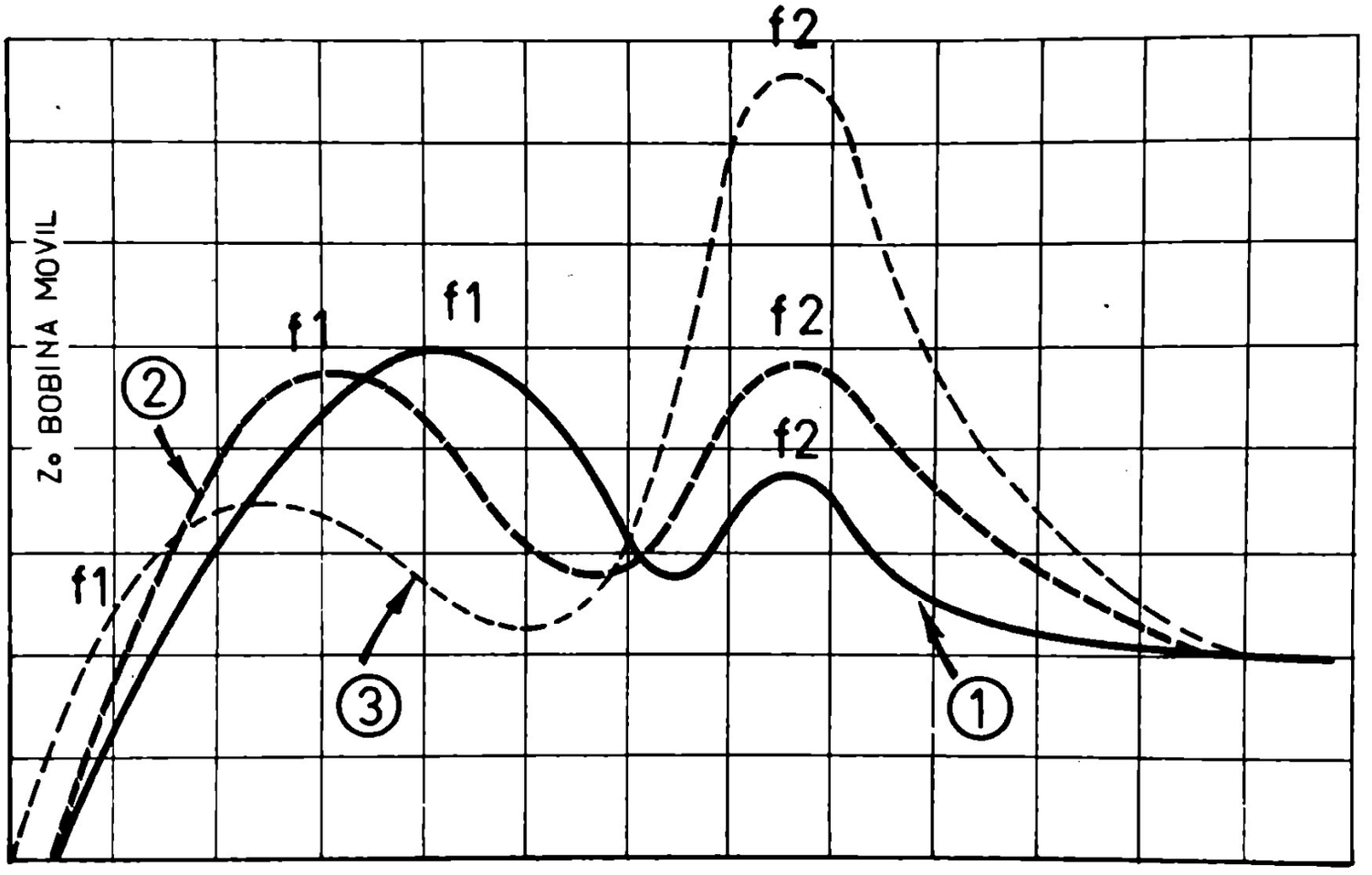
La relación entre la superficie de la ventanilla y la superficie del cono, puede utilizarse para determinar cuando el volumen del gabinete deberá considerarse grande o chico:

a) si la superficie de la ventanilla debe ser menor que un medio de la superficie del cono, para sintonizar el gabinete a la frecuencia de resonancia del parlante, entonces la caja se considera pequeña;
b) si la superficie de la ventanilla es mayor de 1,5 veces la superficie del cono, la caja se considera excesivamente grande.

Otra guía que puede tomarse en cuenta es la siguiente: a medida que la superficie de la ventanilla se reduce, la cresta (f_1) de resonancia (fig. 29), disminuirá, tanto en frecuencia como en amplitud, al mismo tiempo que la frecuencia de resonancia superior (f_2) aumentará en amplitud.

I. *Ajuste por medio de una pila.* — Acabamos de ver que las características de funcionamiento del reflector de bajos pueden modificarse, ajustando para ello las dimensiones de la ventanilla. Esta debe hacerse, inicialmente, más grande que el valor óptimo calculado y, luego, mediante un tablerito corredizo, se irá ajustando el área hasta el valor correcto (fig. 30). Para ello se aplicará un pulso, mediante una pila común de linterna, en forma periódica, a los terminales del cono tal como ya lo estudiamos en la figura (J). En el momento de cierre del circuito, se oirá claramente un "click", debido al desplazamiento del cono bajo el impulso de c.c. Si luego se procede a abrir el circuito, el cono volverá a su posición original produciendo un nuevo sonido. Si éste es tan neto como el obtenido anteriormente, se considerarán que el amortiguamiento del cono es satisfactorio y que la respuesta a los fenómenos transitorios es aceptable.

F. H. Brittain (de la *General Electric Co.*) ha propuesto la siguiente modificación del método recién descripto, obteniéndose así mejores resultados prácticos. El altoparlante, incluyendo su transformador, es excitado a su frecuencia de resonancia baja por medio de un pulso de regimen transitorio. En un caso, el pulso es suministrado por una fuente que posee una muy baja resistencia interna, y en el otro caso por una fuente cuya impedancia es similar a la del amplificador que se ha de emplear con el altoparlante y el reflector de bajos. La fuente de baja impedancia producirá una respuesta mas amortiguada que la obtenida con una fuente de alta impedancia. Deberá agregarse material absorbente acústico al gabinete hasta que se obtenga una respuesta amortiguada similar en ambas condiciones de trabajo.



1,2,3 REDUCCION PROGRESIVA DE LA SUPERFICIE DE LA VENTANILLA

Fig. 29: En esta curva se demuestra que a medida que la superficie de la ventanilla se reduce, disminuye la cresta fl de resonancia, tanto en frecuencia como en amplitud

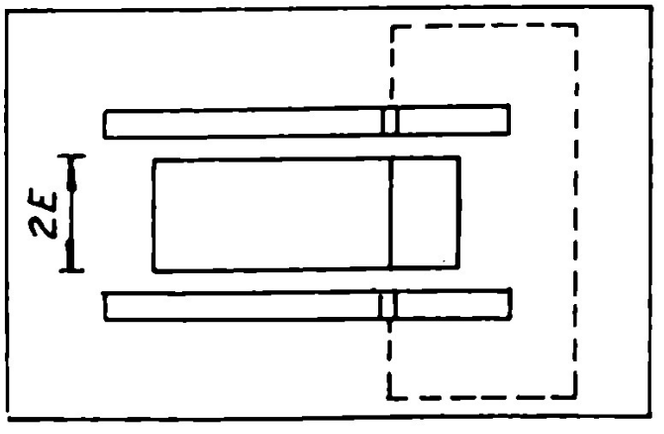


Fig. 30: Ajuste de la superficie de la ventanilla mediante un tablerito corredizo

Un método práctico para realizar la comprobación, consiste en disponer una resistencia de valor tal que simule la impedancia del amplificador, a través del primario del transformador de salida y, luego, aplicar una o dos pilas también en paralelo con el primario. En el momento de cierre del circuito, como las pilas constituyen fuentes de baja impedancia, derivarán a la resistencia; en cambio, cuando se abre el circuito, queda solamente dicha resistencia equivalente. El oído constituye, según el autor, un excelente juez entre el "tick" y el "boom" que se producen. Es necesario lograr un "tick" en ambos casos; en cambio, nunca debe aparecer un "boom". En una palabra, el sonido debe ser neto en ambos casos, nunca con cierto grado de persistencia o "eco".

II. *Ajuste por medio del generador de a.f.* — Este método consiste en aplicar a los terminales del altoparlante una señal de audiofrecuencia y ajustar la ventanilla hasta lograr la máxima salida a la más baja frecuencia que es posible generar con razonable intensidad. Un inconveniente de este método es que, a menudo, resulta difícil diferenciar auditivamente entre la fundamental y la segunda armónica. Mucho mejor es conectar un voltímetro electrónico a la bobina móvil, dejando el oscilador en la frecuencia de resonancia del parlante al aire libre. Luego, ajustando la ventanilla se llegará a un punto de "mínimo", que señala la máxima carga sobre el parlante.

III. *Ajuste por el método de doble resonancia.* — En la primera parte de este desarrollo [1], al estudiar la teoría de los circuitos resonantes acoplados y sintonizados a la misma frecuencia, vimos que la curva de respuesta presentaba una doble cresta. Esto permite llevar a cabo el ajuste de la ventanilla hasta obtener una curva de impedancia del cono de las características mencionadas, con las dos crestas de amplitudes aproximadamente iguales y también igualmente espaciadas a cada lado de la frecuencia de resonancia propia del parlante.

Milton S. Snitzer recomienda operar de la siguiente manera: Se comenzará por colocar una tablita sobre la ventanilla, cerrándola completamente. En esta forma se producirá la elevación de la frecuencia de resonancia del conjunto, en comparación con la resonancia del cono al aire libre. A continuación, se abrirá un tercio de la ventanilla y se volverá a trazar la curva de impedancia. Luego se dejará sin cubrir 2/3 de la ventanilla y volverá a trazarse una nueva curva de impedancia parlante-gabinete. Se efectuarán varias pruebas, con diferentes cubrimientos de la ventanilla y, finalmente, se elegirá aquella posición que permita obtener una curva con dos picos de igual amplitud. El método no es de realización sencilla, debiéndose optar generalmente por una solución de compromiso entre un ajuste correcto y una superficie práctica de la abertura de la ventanilla. En ocasiones, se presenta el inconveniente de que la ventanilla queda muy pequeña, si es que se pretende un ajuste exacto, lo que reduce apreciablemente el rendimiento en las frecuencias menores. En estos casos, la solución consiste en abandonar el sistema de ajuste por ventanilla y optar por la colocación de un túnel hacia el interior, ajustando la longitud del mismo.

IV. *Ajuste por inclusión de bloques.* — Este método de ajuste, descripto por *D. W. Worden*, se efectúa de la siguiente manera: Conéctese un oscilador de audiofrecuencia al circuito de la bobina móvil y llévese la tensión de salida a un nivel cómodo. Luego varíese la frecuencia en la banda de los 200 Hz, anotando cualquier pico que pudiere aparecer a la salida. Es posible que se encuentre una de las tres condiciones siguientes:

a) *la frecuencia a que resuena el gabinete es demasiado alta o demasiado baja.* Pueden aparecer, por ello, dos grandes crestas de resonancia, una de

ellas en el punto de resonancia del altoparlante y la otra en el punto de resonancia del gabinete.

b) *la frecuencia a que resuena el gabinete es ligeramente superior o ligeramente inferior a la frecuencia del parlante.* Aparecen dos crestas espaciadas a igual distancia, una más arriba y otra por debajo de la frecuencia de resonancia del cono, pero de amplitudes muy dispares. Se ajustará la frecuencia del parlante hacia el pico menor;

c) *la sintonía es correcta:* Aparecen dos crestas igualmente espaciadas, por arriba y por debajo de la frecuencia de resonancia del cono.

La frecuencia de resonancia del gabinete puede hacerse subir disminuyendo el volumen de aire encerrado. Un procedimiento sencillo para hacerlo, es encerrar bloques de madera en el interior de la caja, tal como podrían serlo trozos de listones de 10 x 10 cm. Estos se pueden hacer pasar por la ventanilla, hacia dentro de la caja, cuando se procede al ajuste, y posteriormente se atornillarán para que queden bien seguros. Una vez que se ha corregido la frecuencia de resonancia, sólo resta aumentar la atenuación, colocando un género especial para parlantes en la ventanilla. Experiméntese con varios tipos de tela, o colocando varias capas, hasta que los dos picos de resonancia se reduzcan al mínimo. Si la atenuación es excesiva, el pico de resonancia del altoparlante volverá a aparecer.

Como lo establece *Worden*, es aconsejable retocar el ajuste de frecuencia una vez que se ha usado el conjunto parlante-gabinete durante algún tiempo, cosa que raras veces suele hacerse. Los altoparlantes, especialmente cuando son nuevos, o se les ha cambiado el cono hace poco, tienen el reborde del cono más fuerte. Esto motiva que, gradualmente, con el uso, este reborde vaya ablandándose, lo que da por resultado una frecuencia de resonancia más grave, al desplazarse hacia abajo la frecuencia de resonancia del altoparlante, todo el sistema vuelve a desintonizarse. Debido a esta causa, conviene restablecer el equilibrio acústico, retocando la sintonía.

Otro detalle que debe tomarse en cuenta, es que las características de la habitación afectan, en sumo grado, la respuesta en las frecuencias bajas. Por esta razón, conviene efectuar el ajuste en el sitio donde el gabinete ha de funcionar en forma definitiva.

V. *Ajuste de ventanillas distribuidas.* — La ventanilla ha sido reemplazada por un expediente mucho más fácil: perforar agujeros en la tapa del gabinete, tal como lo hemos analizado al estudiar el gabinete de la *General Electric* y la idea de *Baruch* y *Lang*. Partiendo del supuesto de que en la tapa se hayan practicado unos 11 ó 12 orificios de 11 mm de diámetro cada uno, sin contar los que dan paso a los cables, que serán dos, mucho menores. Separados unos 10 Hz del límite inferior de resonancia del sistema de parlantes, habrá otra cresta de resonancia, también abrupta, que corresponde a la caja o gabinete. Pongamos que está en los 39 Hz; habrá que cerciorarse bien en donde se encuentra. Una vez hecho esto, se abrirá otro orificio más en la tapa, con el taladro, y se volverá a explorar la región con el oscilador. Es indispensable mantener la salida del oscilador bien constante y apreciar las diferencias que marca el voltímetro dispuesto sobre el circuito de la bobina móvil. El efecto de haber abierto un orificio más se notará en el hecho de que las resonancias del gabinete y de los conos tienden a acercarse. Si antes estaban separadas por unos diez ciclos, ahora el pico de los altoparlantes bajará un poquito y la cresta del gabinete tenderá a ensancharse algo más arriba. Se procederá a abrir otro orificio. Cuando se llegue a los 14 ó 15, ya no se distinguirán los picos de resonancia

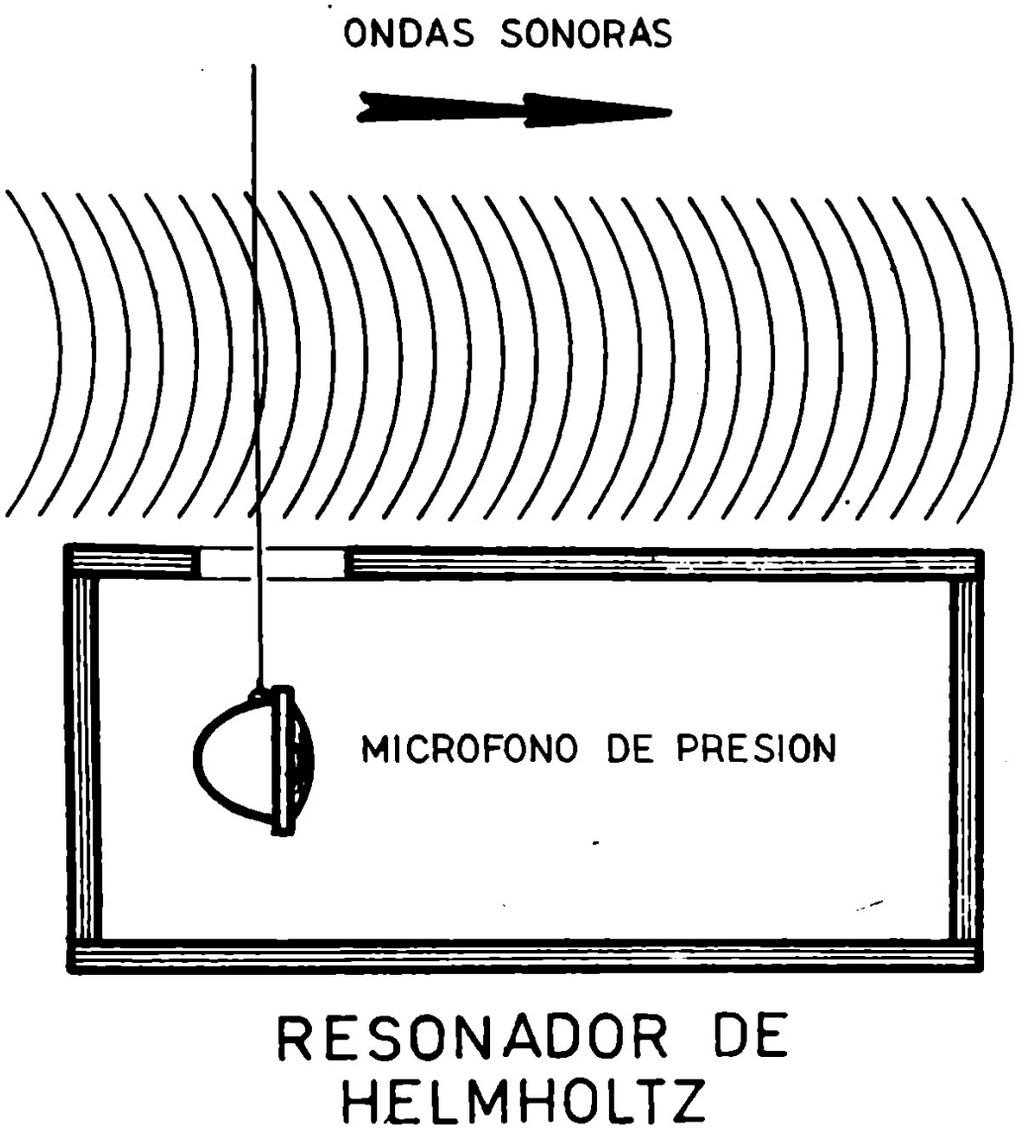


Fig. 31: Si se coloca un micrófono dentro de un resonador de Helmholtz y se hace pasar sonido a la frecuencia de resonancia, se producirá una considerable presión interna

distintos del gabinete y los parlantes, sino que habrá un solo pico, que puede extenderse desde muy cerca de los 40 Hz hasta los 60 ó 65 Hz. En ese punto la pantalla está sintonizada. Conviene explorar varias veces la región con el oscilador, para asegurarse bien de lo que sucede. Si se han abierto demasiados orificios (basta con abrir uno más de lo necesario) se volverán a notar los dos picos de resonancia separados otra vez por un intervalo entre ambos. Entonces, habrá que obturar un orificio con un taquito y cola de carpintero. Pero mejor es no tener que recurrir a ello. Y si se trabaja con cuidado, tal como lo estamos indicando, tanto mejor, pues se llegará a sintonizar a pantalla con toda perfección, sin practicar un solo orificio demás.

VI *Sintonía del gabinete solo.* — Cuando se conoce a ciencia cierta la frecuencia de resonancia que tendrá el parlante en el gabinete (o bien se ha efectuado la comprobación más atrás descripta) es posible sintonizar el gabiente sin colocar previamente el parlante en su interior, determinando al efecto su frecuencia de resonancia.

El procedimiento está indicado en la fig. 31 y consiste en colocar una tapa hermética al orificio del parlante (una tabla con un paño intercalado y bien presionado, servirá) a fin de que sólo exista la abertura, de modo que el mueble se convierta en un verdadero resonador de Helmholtz. Pasando por la abertura se suspende un micrófono de cualquier calidad y del tipo de presión (carbón, cristal, dinámico, etc.). Este micrófono entrega su salida a un pequeño amplificador, que a su vez alimenta a un instrumento detector de la salida y que puede ser un par de auriculares, un parlante o un instrumento de medida (voltímetro electrónico, medidor de salida, osciloscopio, etc.). Por encima de la abertura y a una cierta distancia de ella se coloca un parlante alimentado por un amplificador a cuya entrada se conecta el generador de señales. De este modo, la nota del generador de señales es amplificada y entregada al parlante, el cual produce ondas sonoras que rozan al gabinete. Este actúa como caja de resonancia de esas ondas, en la misma forma como la caja de una guitarra para el sonido producido por las cuerdas. Variando la frecuencia del generador de señales desde, por ejemplo, 20 Hz hacia arriba, llegará un momento en que la nota emitida por el generador será igual a la frecuencia de resonancia y, en ese preciso instante, se producirá un notable aumento de la presión en el interior del gabinete lo que será indicado por la mayor salida del micrófono y revelada por el indicador correspondiente. No es exagerado un aumento en la salida que oscila entre 10 y 30 veces con respecto a la salida que tendría el mismo micrófono, con el mismo nivel de excitación, pero sin la presencia del gabinete. El método es sumamente exacto en la determinación de la frecuencia de resonancia.

Modificando experimentalmente el área de la abertura, ocluyéndola parcialmente con una tabla, puede comprobarse rápidamente el efecto que sobre la frecuencia produce tal modificación del área.

REFLECTORES DE BAJOS TIPO ELIPSOIDAL Y ESFERICO

En Francia se ha utilizado con éxito un reflector de bajos por demás original. En primer lugar, su forma exterior no es ni cúbica ni prismática, sino esférica, tal como puede verse en la fig. 32; en segundo lugar, en la parte superior se ha agregado un reflector, que constituye parte de un elipsoide de revolución, en uno de cuyos focos se dispone un altoparlante común de cono. Los sonidos medios y agudos se recogen en un punto de origen para las ondas sonoras, produciendo su difusión en un amplio ángulo, como puede apreciarse en el diagrama polar de distribución sonora.

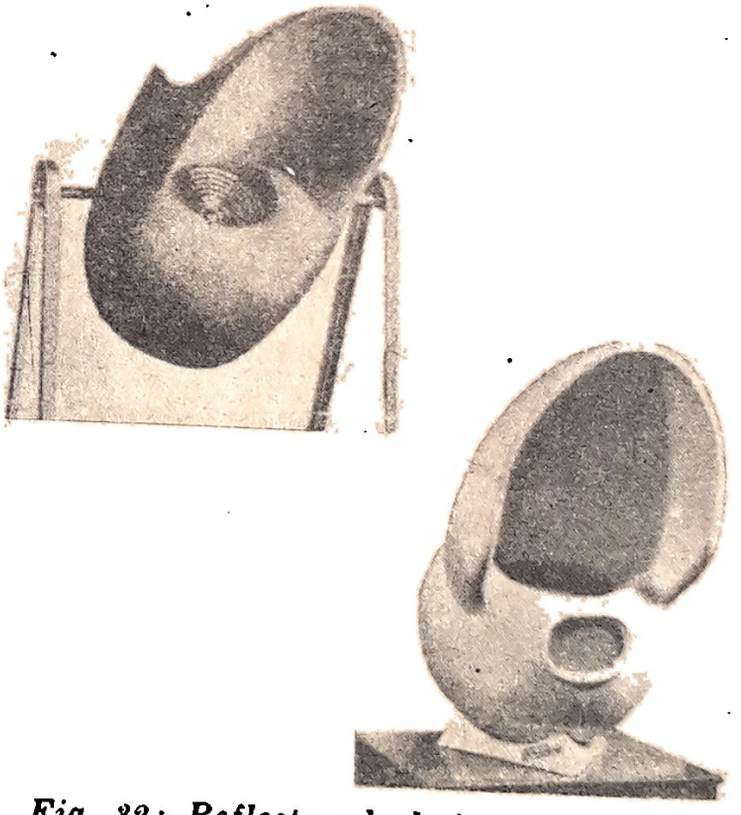


Fig. 32: Reflector de bajos que constituye, por su forma, parte de un elipsoide de revolución, en uno de cuyos focos se coloca el altoparlante

Fig. 33: Reflector de bajos Pathé (francés) de funcionamiento similar al anterior

2

TUBOS Y LABERINTOS

En los capítulos anteriores, hemos estudiado, sucesivamente, las pantallas acústicas planas, en forma de gabinete abierto, de caja cerrada y, finalmente, los reflectores de bajos, en sus múltiples versiones. Vimos que estos tipos de pantallas acústicas resolvían, a su modo, los siguientes problemas fundamentales:

a) evitar la neutralización mutua de las ondas anterior y posterior del parlante:
b) ofrecer un buen acoplamiento entre el cono y el medio acústico;
c) amortiguar eficientemente al cono, a su frecuencia de resonancia.

Estos mismos problemas han sido encarados desde otros ángulos también, siendo los tubos y laberintos acústicos algunos de ellos. Para poder entender mejor la forma como se comporta este original gabinete (patente de Stromberg-Carlson Teleph. Manuf. Co. 1936), observemos la fig. 34, en la cual

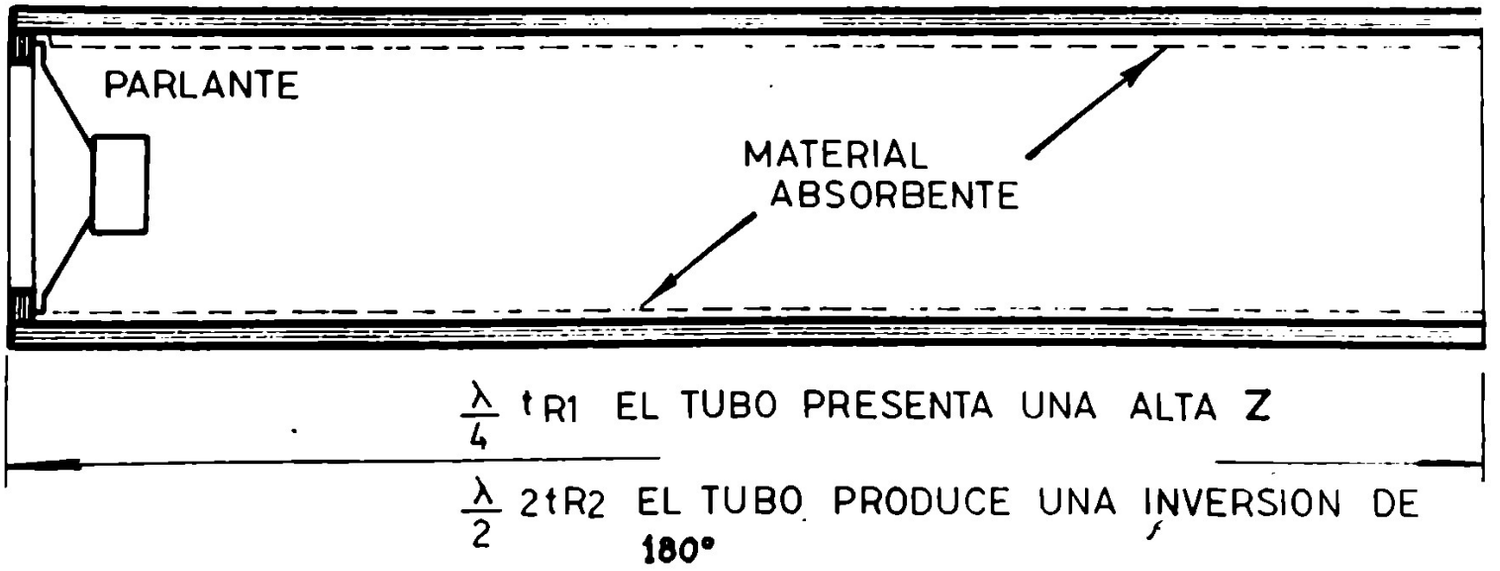
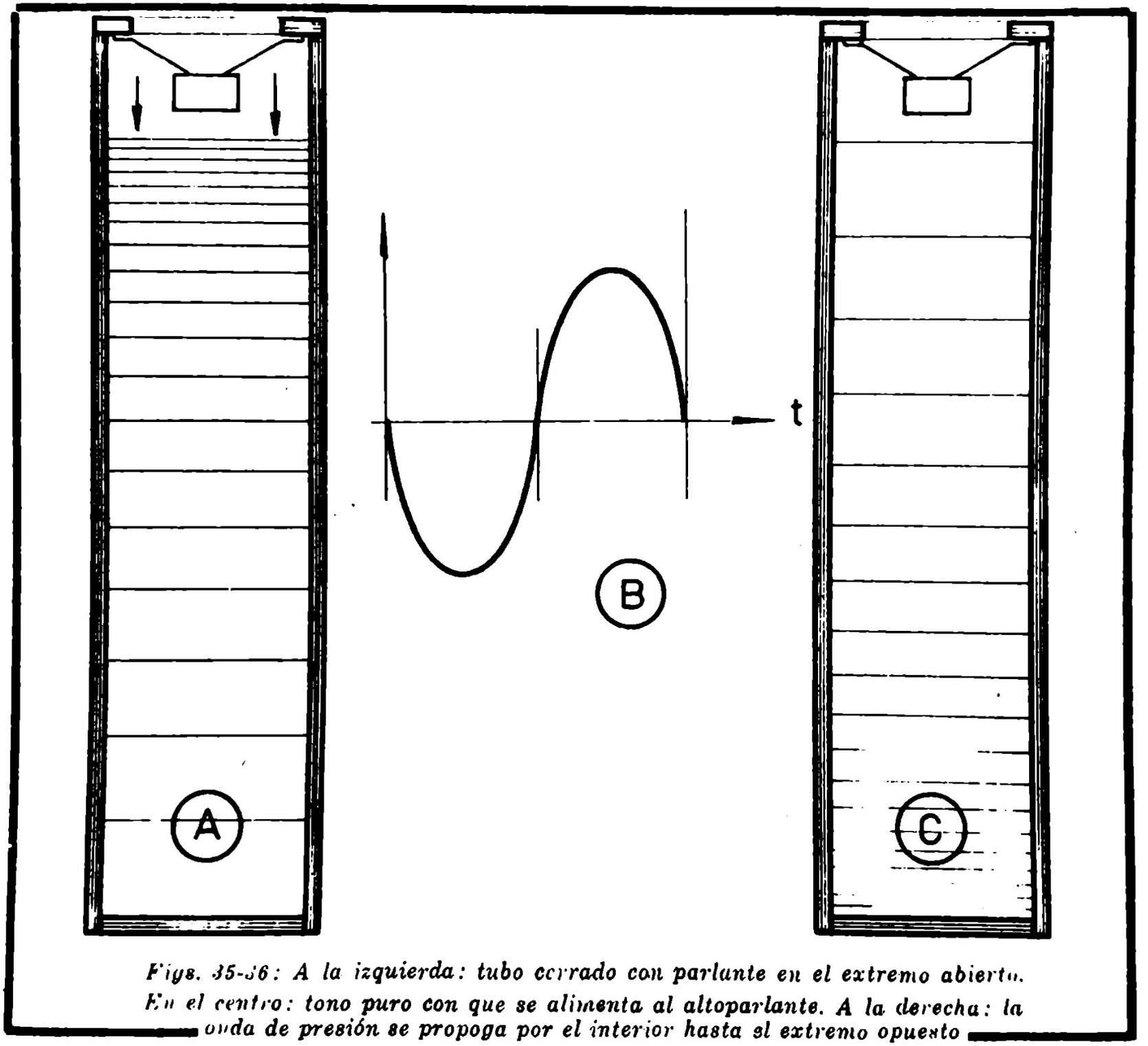


Fig. 34: Largo tubo abierto en uno de sus extremos y con el altoparlante aplicado en el extremo opuesto, constituyendo un tubo resonante de extremo abierto



Figs. 35-36: A la izquierda: tubo cerrado con parlante en el extremo abierto. En el centro: tono puro con que se alimenta al altoparlante. A la derecha: la onda de presión se propoga por el interior hasta el extremo opuesto

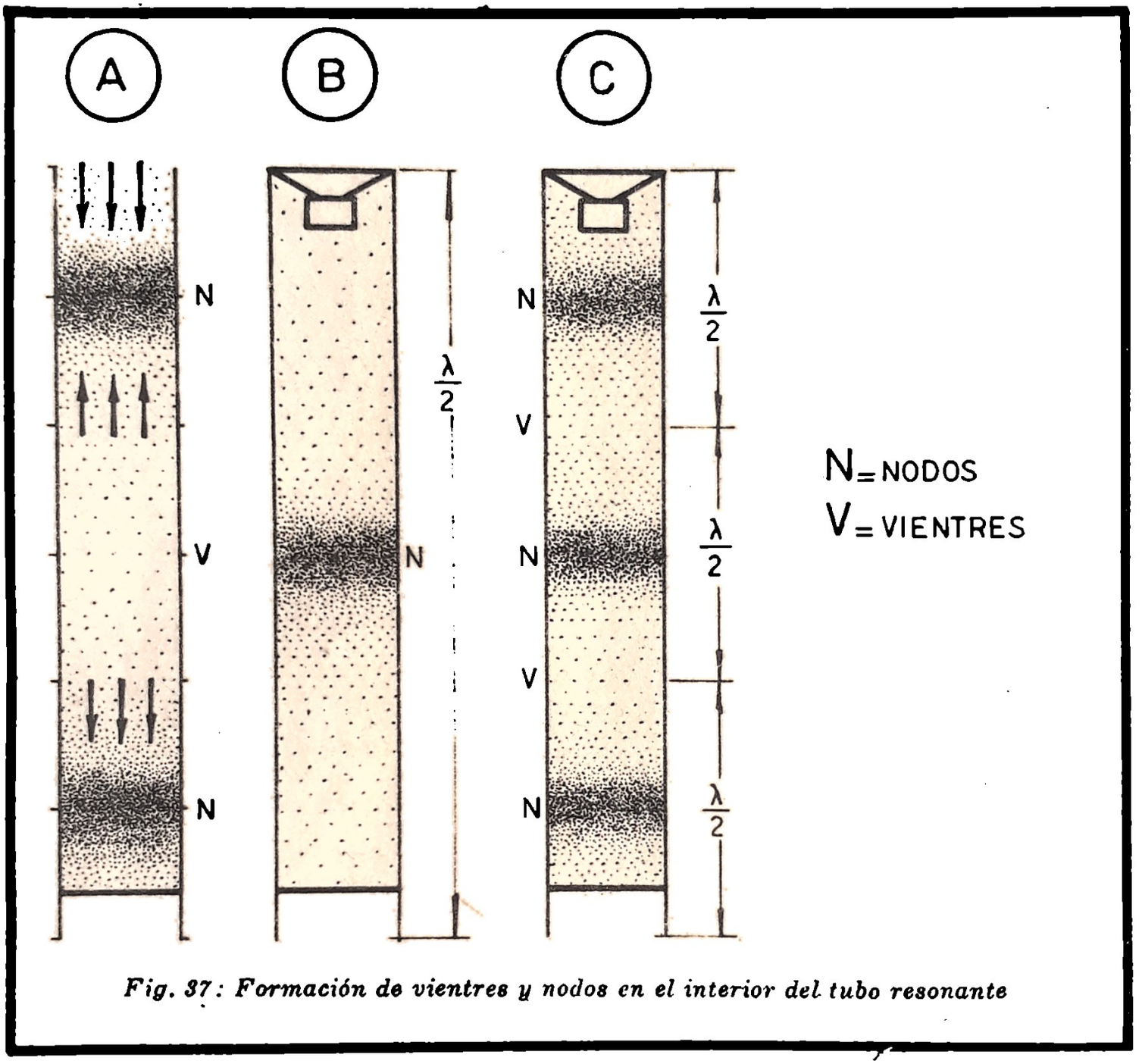


Fig. 37: Formación de vientres y nodos en el interior del tubo resonante

hemos presentado un largo tubo, abierto por uno de sus extremos y aplicado a la parte posterior del parlante por el otro. En esta forma hemos constituido un tubo resonante de extremo abierto, en el cual tienen lugar efectos acústicos, que ahora analizaremos en detalles, por sernos indispensable para encarar el tema principal.

TEORIA DEL TUBO ACUSTICO

En la fig. 35-36 se muestra, a la izquierda,

un tubo cerrado, con el parlante aplicado en uno de sus extremos. Supongamos que este parlante es alimentado con un tono puro (fig. b) de muy baja frecuencia, vibrando el cono en concordancia. Cuando el cono se ha desplazado totalmente hacia abajo, se habrá alcanzado el máximo de compresión del aire encerrado y esta onda de presión se desplazará hacia el extremo inferior, a una velocidad algo menor que en el aire, debido al rozamiento contra las paredes. Finalmente, transcurrido un determinado tiempo, llegará a la parte inferior.

Es evidente que esta zona de presión no podrá mantenerse indefinidamente en el fondo y lo real es que comenzará a expandirse hacia arriba, para alcanzar la presión atmosférica normal.

Resumiendo, tendremos un onda que recorre el gabinete ida y vuelta. Lo mismo sucede con la onda de descompresión que se produce cuando el cono se desplaza hacia arriba.

Supongamos, ahora, que el tiempo insumido por la onda, para realizar el recorrido de ida y vuelta sea igual a un ciclo de la c.a. alimentada a la bobina móvil. Es obvio que la onda de presión alcanzará al cono en su retorno, justo cuando éste desciende, en un nuevo ciclo. El resultado será un verdadero amortiguamiento del movimiento vibratorio; y lo mismo sucederá con la onda de descompresión, la que irá habia abajo cuando el cono trata de desplazarse hacia arriba, produciendo una verdadera succión del mismo, limitando su movimiento.

Resultado de este proceso es que todo ocurre tal como si el cono estuviese trabajando contra una impedancia muy alta. El efecto será una reducción notable del sonido radiado, cuando la longitud del gabinete es igual a un medio de la longitud de onda de la señal de A.F. aplicada.

Aplicando los mismos razonamientos, podrá determinarse que todo lo contrario sucede cuando la longitud del gabinete es igual a un cuarto de la longitud de onda, ayudando el proceso al movimiento del cono y aumentando el rendimiento de radiación acústica. Es como si el cono estuviese mirando a una *muy baja impedancia.*

Todas estas consideraciones son aplicables, al caso de un gabinete cerrado en el extremo opuesto al parlante. Veamos, ahora, qué sucede con un *gabinete abierto.*

En principio, también en este caso la onda de compresión se expanderá hacia el extremo inferior, pero esta vez ya no tendrá donde reflejarse. Más aún, el aire saldrá por el extremo abierto y el resultado será que en el tubo se constituirá un verdadero estado de rarefacción, debido a que contendrá menos aire que antes. Esta rarefacción se extenderá hacia el cono y tendremos el curioso caso de que ahora la onda de compresión generada por el cono, al moverse hacia abajo, producirá una onda de descompresión hacia arriba, o sea todo lo contrario que en el tubo cerrado.

En el tubo abierto de longitud igual a un medio de la longitud de la onda A. F. el cono "verá", en el extremo libre, una impedancia muy baja. En cambio, en el tubo de longitud igual a un cuarto de longitud de onda "verá" una impedancia muy alta.

Si el tubo tiene una longitud igual a varios cuartos de onda, se constituirá una serie de máximos y mínimos de impedancia, estableciendo lo que se conoce como *ondas estacionarias*, dotadas de *vientres* (puntos de máxima presión) y *nodos* (puntos de mínima presión).

En el tubo abierto de una longitud igual a un medio de longitud de onda, existe un solo nodo, situado en el centro, donde la velocidad del aire es cero, diciéndose que este tubo está vibrando en *fundamental.*

Cuando en el interior del tubo se producen varios nodos, entre dos de ellos habrá siempre un vientre y la frecuencia de la fundamental será igual a la velocidad del sonido dividida por el doble de la distancia del cono al primer vientre, siendo independiente de la naturaleza de las paredes, de la

forma, de la sección transversal y de su magnitud.

En realidad, la longitud física del tubo debe ser menor de lo que se establese teóricamente, debido a que en el proceso intervienen también las moléculas del aire próximo a los extremos. Este factor de corrección es igual a 1,7 R en el caso de un tubo circular, o bien 1,7 $\sqrt{A/r}$ si no lo es. Luego:

$$l = \frac{360}{2f} = 1{,}7\ R$$

o bien:

$$l = \frac{360}{2f} = 1{,}7\sqrt{A/r}$$

Por lo tanto, la frecuencia estaría dada por la siguiente expresión:

$$f = \frac{360}{2\,(l \div 1{,}7\ R)}$$

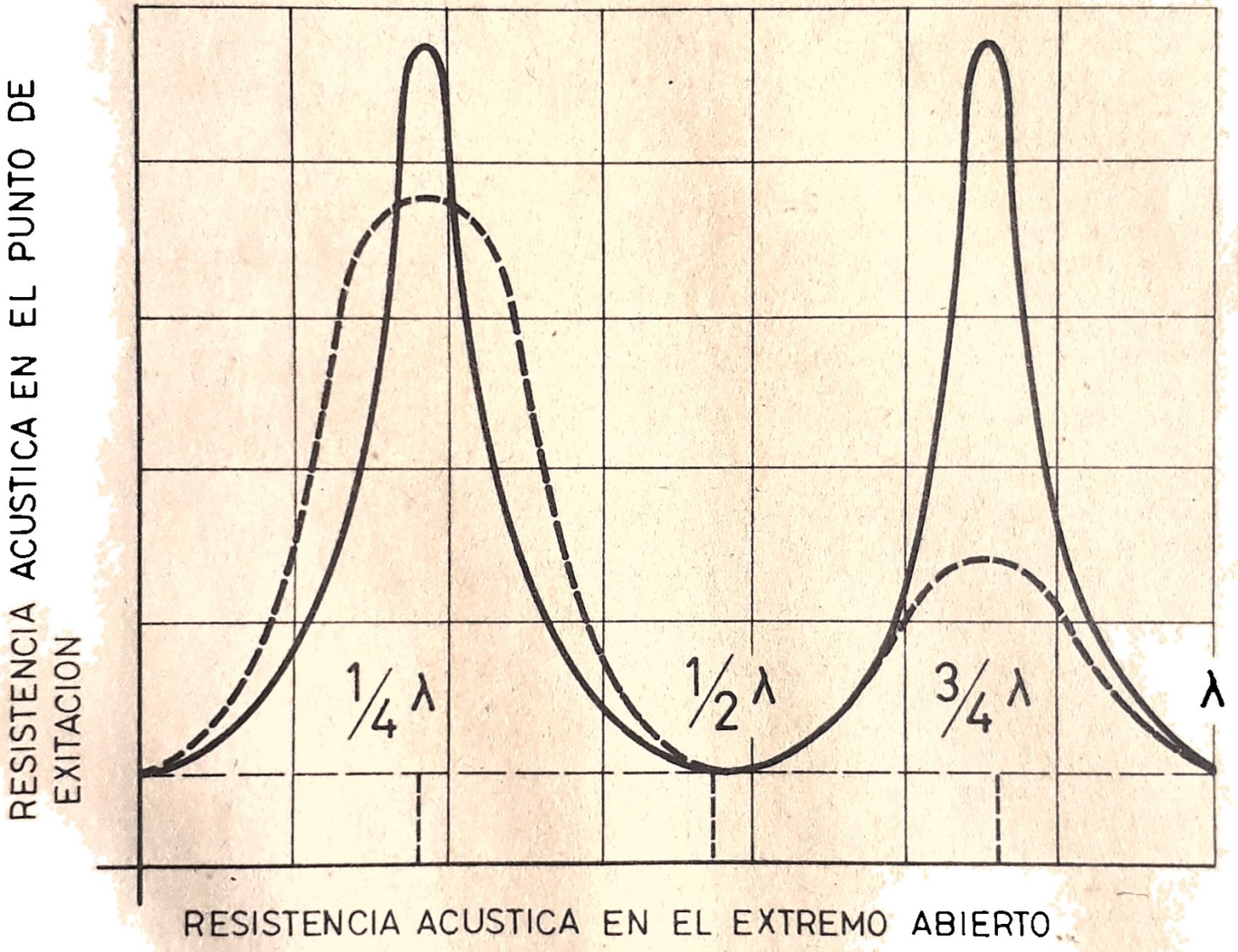


Fig. 38: El recubrimiento abundante interior del tubo, contribuye a reducir la formación de las crestas en el interior. En la figura se muestra la variación de la resistencia cústica de un tubo abierto en un extremo y con un altoparlante en el extremo opuesto. La curva llena corresponde a un tubo sin recubrimiento y la cortada a uno dotado de recubrimiento absorbente

estando *l* y *r* en metros.

Todo lo expuesto nos indica que el tubo resonante se comportará, a la frecuencia para la cual es igual a *un cuarto* de longitud de onda, como *un transformador de impedancias*, ya que el extremo aplicado a la fuente presenta una impedancia cero, en tanto que el extremo opuesto ofrece una impedancia máxima.

Por lo tanto, aplicando a un parlante un tubo abierto de longitud igual a un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del cono, se podrá obtener un excelente amortiguamiento, dada la elevada impedancia desarrollada en el extremo opuesto. Igual efecto se obtiene con un tubo cerrado, pero de longitud igual al doble del tubo abierto.

Para una frecuencia igual al doble de la frecuencia de resonancia del cono, el tubo abierto se comportará como una línea de media onda y la onda de salida estará en igual fase que la que emerge de la parte anterior del cono, o sea que el tubo habrá producido una *inversión de fase* de la onda posterior, igual como sucede en el caso del reflector de bajos, dando lugar a un aumento del rendimiento. Es por esta razón que, al dimensionar un laberinto acústico, debe procurarse que su longitud física no coincida con el valor de un medio de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del cono, ya que en lugar de amortiguar a éste, que es lo deseable, se reforzaría tal frecuencia; por el contrario, habrá un valle cuando las ondas están en contrafase. Lo primero sucede a frecuencias tales que la longitud del tubo sea igual a un múltiplo impar de un medio de su longitud de onda. Lo segundo se produce para múltiplos pares. El resultado será una respuesta indeseable que debe evitarse. Un método, que ya hemos estudiado, al tratar el gabinete *Karlson*, para eliminar estos picos y valles, es efectuar una escotadura exponencial, en el extremo abierto. El recubrimiento abundante interior también contribuye a amortiguar crestas y valles, pero a costas de una seria reducción del rendimiento en las frecuencias

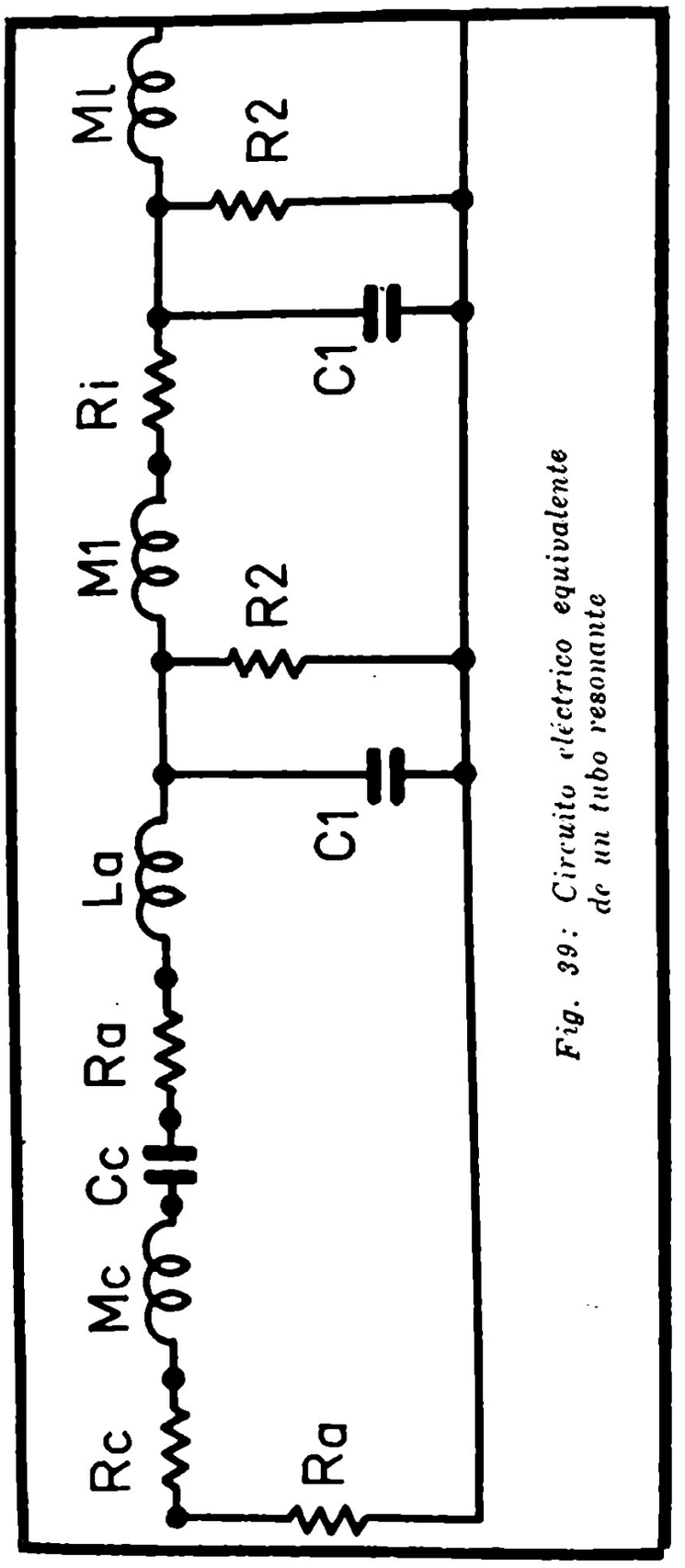


Fig. 39: Circuito eléctrico equivalente de un tubo resonante

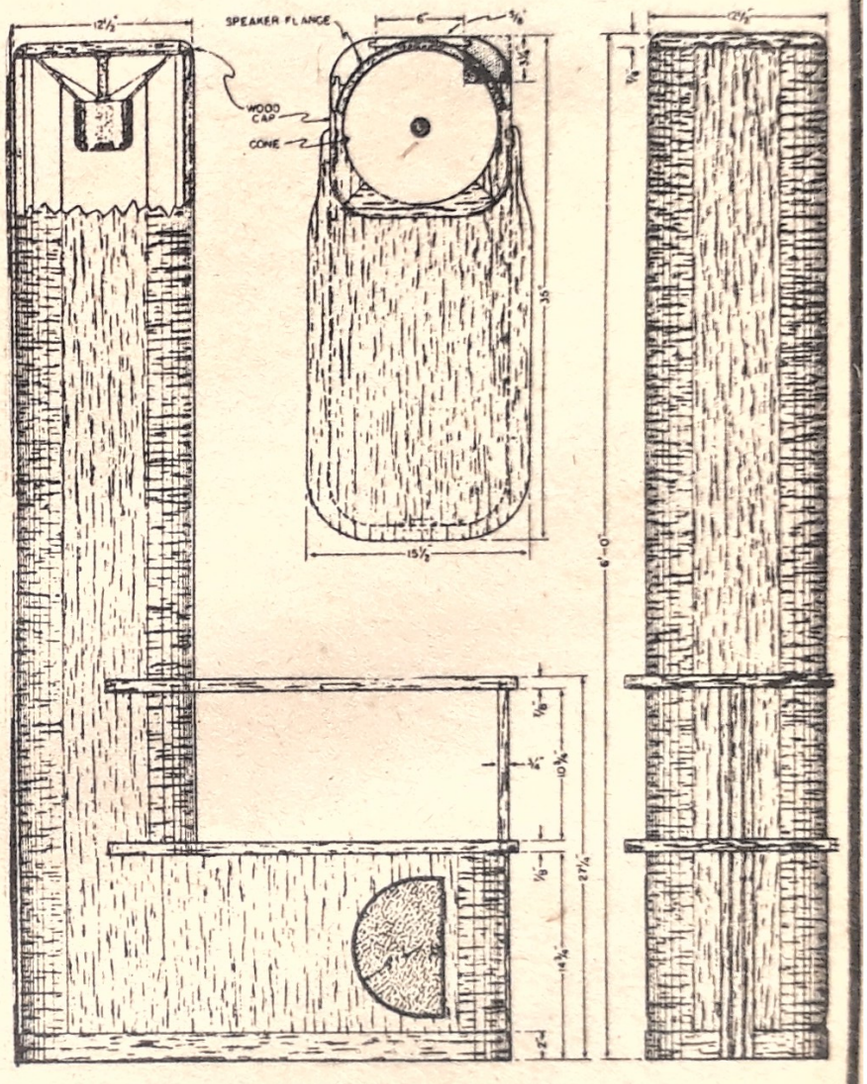


Fig. 40-A: Aspecto del gabinete basado en el tubo resonador de Stocklin

elevadas, ya que se desperdicia casi totalmente la onda posterior. Esto obliga a emplear una unidad independiente para la reproducción de los agudos. La absorción no será tan efectiva como en los otros gabinetes, debido a que la onda pasa "rozando" las paredes, en lugar de "chocar" contra ellas; por esta razón debe colocarse mucho más material absorbente.

La absorción intensa de la onda posterior hace que, desde el punto de vista práctico, sea lo mismo dejar abierto o cerrado el extremo del tubo, ya que el efecto de neutralización de la onda anterior no podrá realizarse. Además, con un intenso recubrimiento interior el cierre del extremo de un tubo con gran cantidad de material absorbente no modifica mayormente el efecto de amortiguamiento sobre el cono del parlante.

En la fig. 39 se expone el circuito equivalente de un tubo resonante, que es el de una línea de transmisión. La energía acústica debida a la onda posterior , se disipa en su mayor parte en los componentes resistivos R_1 y R_2, donde R_1 constituye las pérdidas por fricción entre el aire en movimiento y el recubrimiento amortiguador interno. R_2 se debe a la absorción de sonido producida por estas superficies.

A medida que R_1 aumenta, R_2 disminuye, lo que se traduce en la necesidad de aumentar mucho el espesor del recubrimiento para que sea efectivo en bajas frecuencias. Lamentablemente, esto producirá la reducción de la sección efectiva del tubo, aumentando excesivamente la carga impuesta sobre la parte posterior del cono, lo que se traducirá en una reducción notoria del rendimiento, en esas frecuencias.

DISPOSICIONES PRACTICAS

Un ejemplo de aplicación práctica de un tubo resonante de extremo abierto, a la parte posterior de un parlante, se expone en la fig. 40, que reproduce un proyecto de *W. A. Stocklin*. Dadas las dimensiones de la columna, su frecuencia de resonancia será de 35 Hz, puesto que a lo largo de su eje, considerando las partes vertical y horizontal, la longitud del gabinete tiene 2,50 m. Como la longitud del tubo es igual a un cuarto de longitud de onda, es evidente que ésta tendrá $2{,}5 \times 4 = 10$ m, valor que corresponde a una frecuencia de $333/10 = 33{,}3$ Hz o sea aproximadamente 35 Hz. El efecto de inversión de fase tendrá lugar a la frecuencia de 70 Hz (o sea cuando la longitud de la columna es igual a la mitad de la longitud de onda) sumándose la onda posterior a la anterior. Por el contrario, a la frecuencia de 140 Hz (cuya longitud de onda es igual a la longitud de la columna) se producirá un valle o depresión, debido a que la onda posterior estará fuera de fase con la anterior, neutralizándose mutuamente sus efectos sobre el oído. Las mismas consideraciones generales, efectuadas anteriormente sobre el recubrimiento interior con

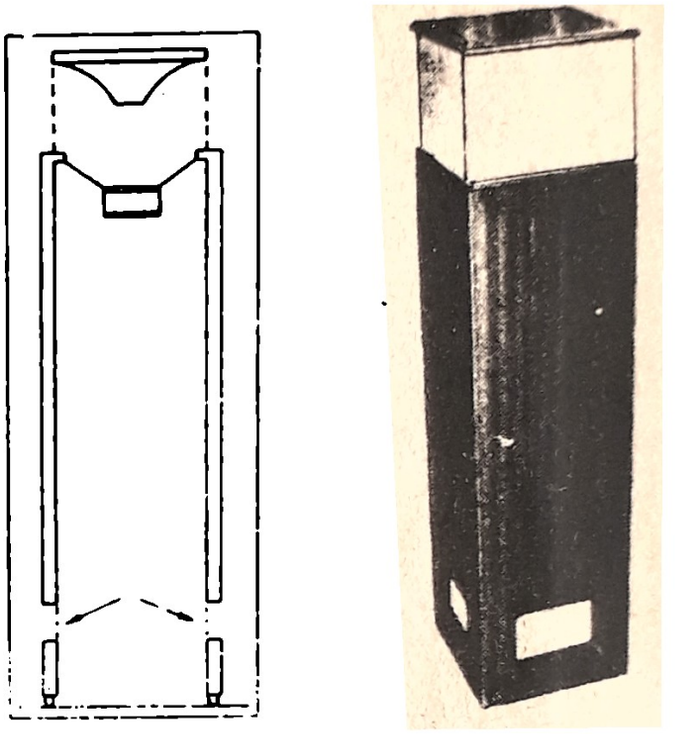


Fig. 40-B: Otra disposición práctica de un tubo resonante. Obsérvense las ventanillas sintonizadas en la parte inferior del gabinete

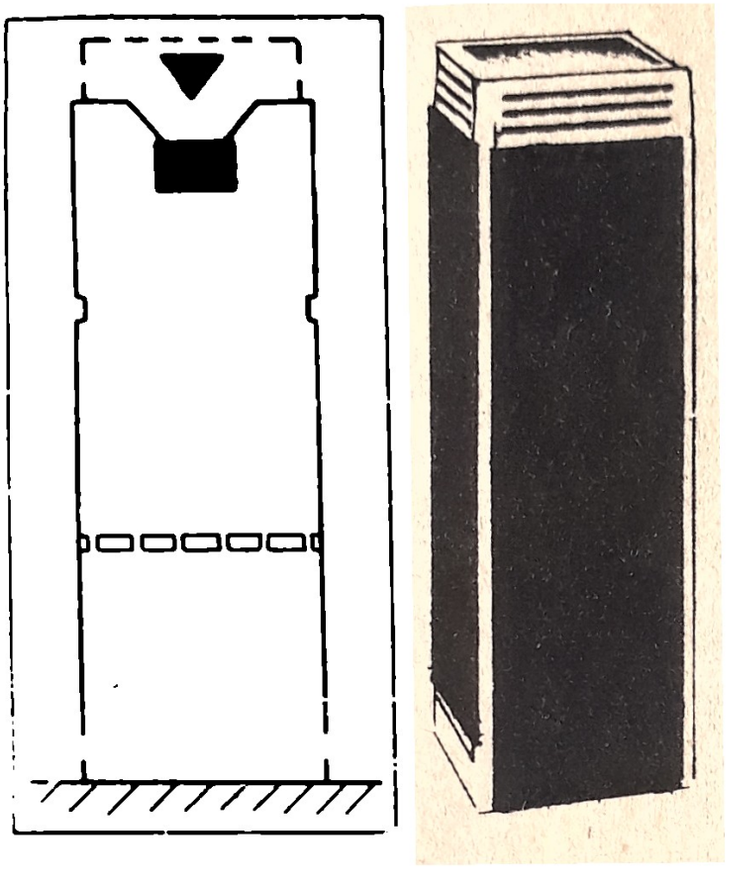


Fig. 41: Columna resonante similar a la de la figura anterior. Incluye resistencia acústica mediante la serie de hendeduras practicadas en el divisor

material absorbente del sonido, son válidas para este proyecto.

Como el altoparlante mira hacia arriba, su autor sugiere la colocación de un dispositivo reflector de las ondas hacia la habitación. Lo más sencillo sería la colocación de un plano inclinado en 45º, pero esto no es muy recomendable desde el punto de vista estético, por lo que resulta feliz la idea del reflector cónico, que puede apreciarse en la figura, construido en cobre. Si no se coloca el reflector, las ondas serían absorbidas por el cielorraso, reduciendo mucho el rendimiento.

Una realización práctica similar a la columna acústica recién descripta, es la que se expone en la fig. 40, su sección es cuadrada, estando su extremo inferior abierto y elevado del piso unos 6 mm. Esta separación, conjuntamente con dos ventanillas laterales próximas, actúan como aberturas sintonizadoras bien amortiguadas, tanto por la cercanía al piso como por la resistencia introducida por la pequeña separación.

No contiene material absorbente acústico, siendo su comportamiento similar al de un reflector de bajos de dimensiones generosas (0,112 m^3) y un tubo resonante de un cuarto de longitud de onda. La altura total es 1,40 m y tiene 30 cm de lado.

Otra columna que responde al principio descripto es la expuesta en la fig. 41. Contiene en su interior una resistencia acústica formada por una serie de cortes de sierra en un tablero de madera terciada. La sección transversal es rectangular, de modo que los dos pares de paredes tienen resonancias distintas. Los 2/3 superiores, que contienen los altoparlantes, están amortiguados por recubrimiento interior absorbente, eliminando las ondas estacionarias. El ⅓ inferior es de interior desnudo y contiene dos ventanillas cerca del piso. El extremo inferior está cerrado. Las dimensiones son 35 x 30 x 1,10 m.

EL LABERINTO ACUSTICO

Evidentemente, un tubo de dimensiones iguales a un medio o un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del parlante no resulta cómodo, puesto que alcanza una extensión de alrededor de los 2,5 m para una frecuencia de 30 Hz. Esto obliga a efectuar varios pliegues en el tubo, conduciendo a disposiciones como la que se exponen en la fig. 42, que permiten un gran ahorro de espacio: así nació el *laberinto acústico*, o tubo plegado absorbente.

En realidad, este sistema es la combinación de un gabinete cerrado especial y un tubo y el efecto es obtener un menor volumen

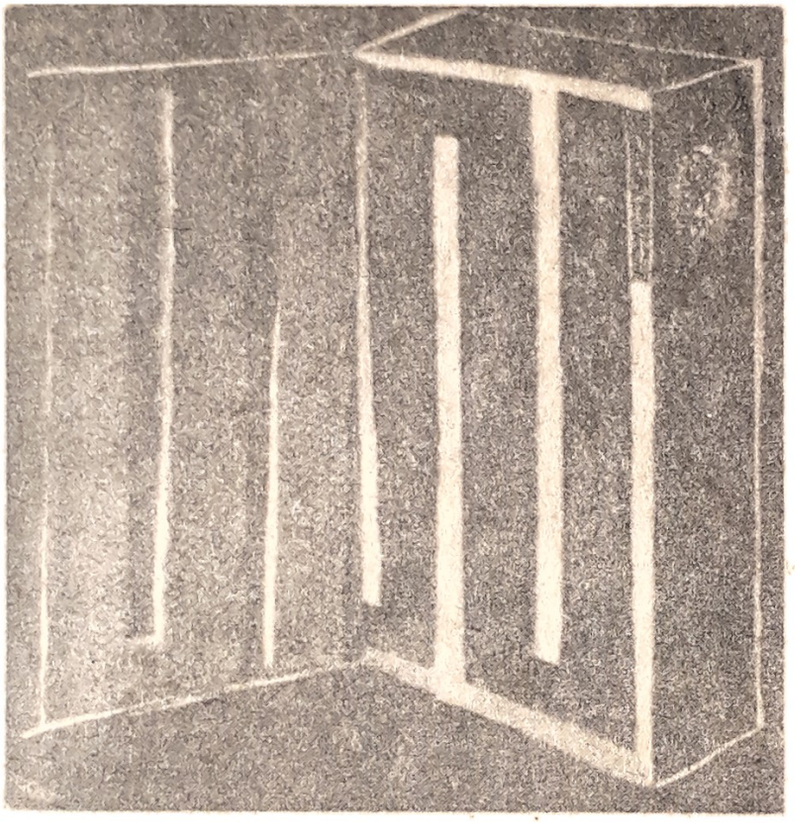


Fig. 42: Pliegues del tubo resonante, para obtener dimensiones más cómodas, para su ubicación en la sala de escuchar

que con un gabinete cerrado simple, para un mismo efecto de amortiguamiento sobre el cono. Además, la frecuencia de resonancia del cono se reduce debido a que los diversos compartimentos en que queda dividido el interior actúan como capacitores en paralelo, aumentando la capacitancia que forma parte del circuito equivalente eléctrico.

En general, como hemos visto, se adopta para la sección del tubo una medida igual a la del cono del parlante. La resistencia en el extremo abierto varía con el cuadrado de la frecuencia, cuando la abertura es pequeña comparada con la longitud de onda, que es el caso sobre el rango de frecuencia donde se obtiene la radiación efectiva desde el extremo abierto del laberinto. Si la sección del tubo es pequeña con respecto al cono, la impedancia en la parte posterior del mismo se torna una reactancia capacitiva muy elevada en bajas frecuencias. Estas sufrirán por dos razones; a saber:

1º debido a que la reactancia agregada eleva la frecuencia natural de resonancia del cono;
2º menos sonido es transmitido a lo largo del tubo en el rango de inversión de fase.

Las precauciones constructivas son sumamente importantes, puesto que es esencial que no haya filtración alguna de aire por otra parte que no sean los extremos del tubo. Las vibraciones de los tableros constituyen un punto de suma importancia, puesto que si se producen darán lugar a alteraciones de la curva de respuesta, por efecto de las ondas emitidas y, al mismo tiempo, un verdadero cortocircuito acústico, o sea que la onda posterior no seguirá el trayecto del tubo sino que tomará el camino más corto, pasando de un lado al otro de una sección por efecto de la transmisión indirecta por vibración del tablero. Aquí conviene emplear tableros de relleno acústico o sea un

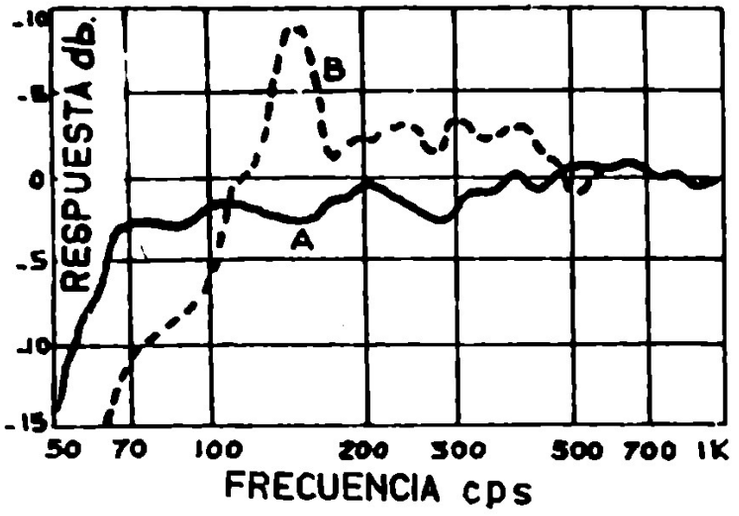


Fig. 43: Curva de respuesta a frecuencias de un laberinto acústico, comparada con la que suministra el mismo altoparlante dentro de un gabinete abierto (línea de puntos). Todo el interior del tubo está tapizado con material absorbente acústico

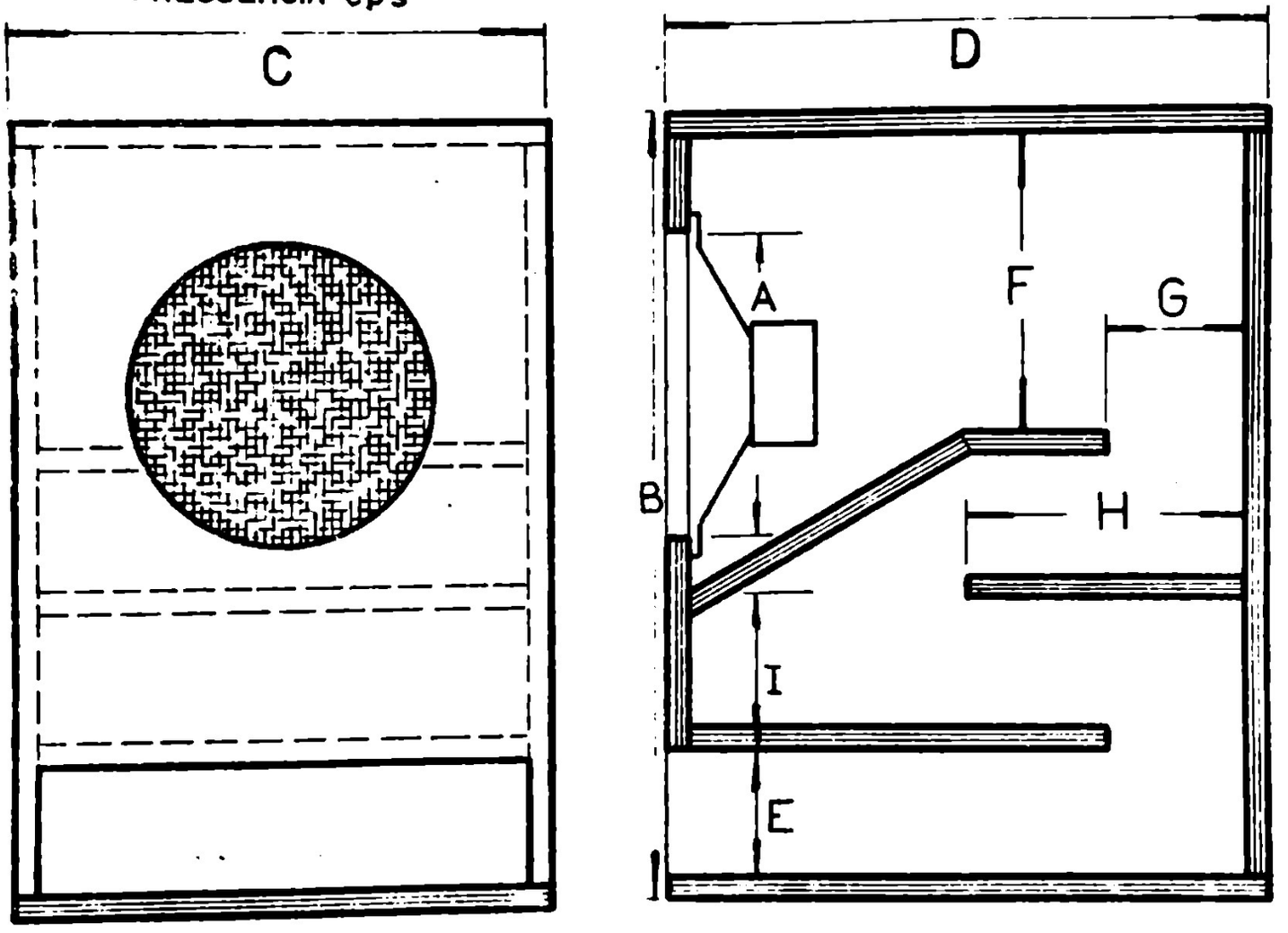


Fig. 44: Vista de un laberinto acústico en corte y de frente, con las letras que señalan sus dimensiones, las que deberán consultarse en la tabla adjunta

verdadero "sandwich" de madera terciada y "celotex" o bien adoptando el sistema de relleno con arena.

La gran ventaja del laberinto acústico es que, de todos los gabinetes estudiados, es el que menores dimensiones exige. Suministra un excelente amortiguamiento del cono, extiende la respuesta por lo menos una octava en el extremo inferior; el rendimiento es muy bueno debido al efecto reflector de bajos; no aumenta la frecuencia de resonancia del cono, como es el caso del gabinete cerrado e independiza al cono del parlante de las variaciones de impedancia por efecto del recinto, puesto que el amortiguamiento se mantiene constante; ya que no depende del recinto sino del tubo resonante acoplado. La única desventaja es su construcción costosa y cierta irregularidad en la curva de respuesta, por efecto de las ondas estacionarias que el recubrimiento no puede eliminar completamente, como ya hemos especificado antes, salvo que se coloque una gran cantidad de material y se elimine la onda posterior, cosa que de ser posible (y ya sabemos que prácticamente no lo es) implicaría una notoria reducción del rendimiento.

En algunas disposiciones comerciales, la ventanilla de salida del laberinto se coloca muy cerca de la salida del altoparlante, con el fin de aprovechar el efecto de acoplamiento mutuo de radiación, que refuerza notablemente el rendimiento (fig. 45).

MEDIDAS PARA LA CONSTRUCCION DE UN LABERINTO ACUSTICO
(LOS VALORES SE DAN EN PULGADAS)

PARLANTE DIAMETRO	ORIRICIO DEL PARLANTE	DIMENSIONES TOTALES							
--	A	B	C	D	E	F	G	H	I
6	6 1/4	17	14	11 1/2	3	9 1/2	2 1/2	5	3 3/4
10	8 1/2	21 3/4	17	14 .	4 1/2	10 1/2	4	5	3
12	10 1/2	27 2/4	21	16 3/4	6	13 1/2	5 3/4	6 1/4	5
15	13 1/2	35	25	21	7	18	6 1/2	7 1/2	4

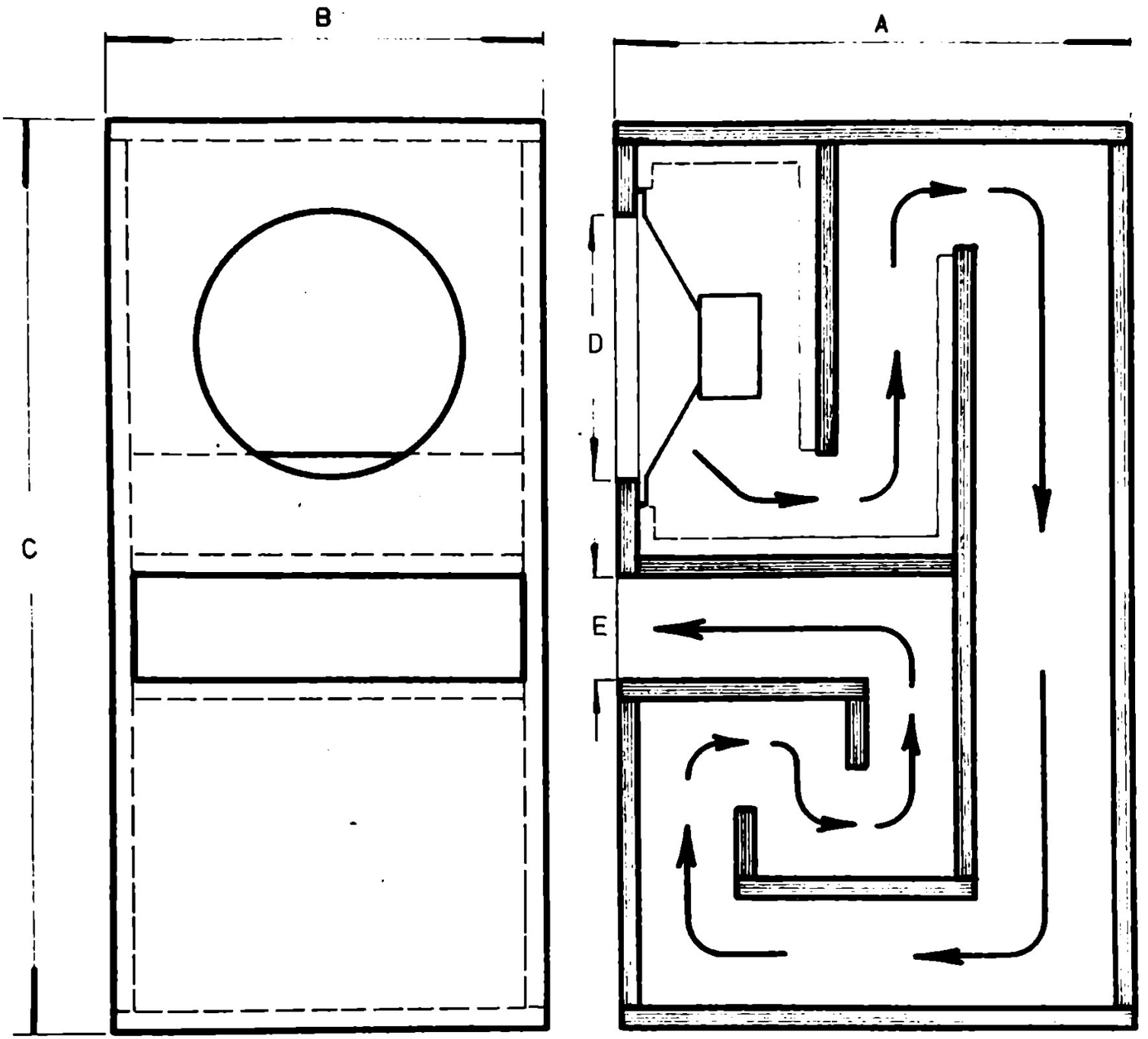


Fig. 45: En este gabinete tipo laberinto, la ventanilla acústica se coloca muy cerca del cono del altoparlante, aprovechando el efecto de acoplamiento mutuo entre las dos fuentes sonoras

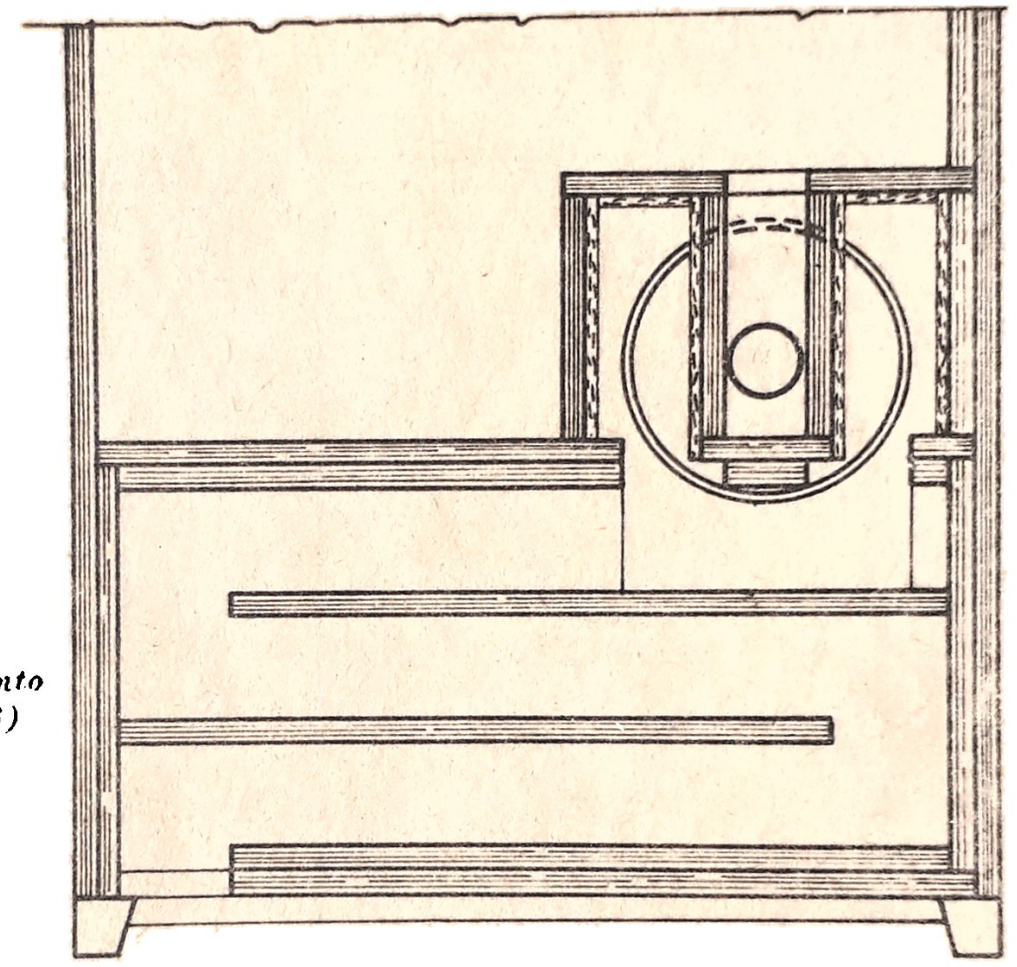


Fig. 46: El famoso laberinto acústico de B. Olney (1936)

EL ACOPLADOR ACUSTICO DE FLEWELLING

Si bien las grandes dimensiones del tubo resonante de extremo abierto, llevaron al procedimiento del plegado, que condujo a la creación (1936) del laberinto acústico por *Benjamín Olney* (fig. 46), algunos investigadores han preferido dejar intacta la forma del original del tubo resonante, creando así el llamado acoplador acústico, del que *Edmundo T. Flewelling* ha sido uno de los más tenaces propulsores, al punto de que este sistema se conoce con su nombre.

Con el fin de que la profundidad del gabinete fuese pequeña, *Flewelling* aplicó al altoparlante desde afuera (fig. 47) en lugar de incluirlo en su interior, cosa que no cambia en modo alguno la teoría de funcionamiento, puesto que la carga por la columna resonante, tanto puede efectuarse sobre la cara anterior como sobre la cara posterior. Más aún, hasta existen publicadas, en la literatura técnica, algunas ideas en que la carga se aplica por partes iguales en la cara anterior y posterior, tal como se expone en el laberinto acústico de la fig. 48.

Otra característica del gabiente *Flewelling* es que el parlante y el orificio de salida pueden colocarse en un costado del gabinete, no siendo necesario que se hallen en oposición, en los extremos. Las mediciones demuestran que colocando el parlante en un costado del tubo resonante, en

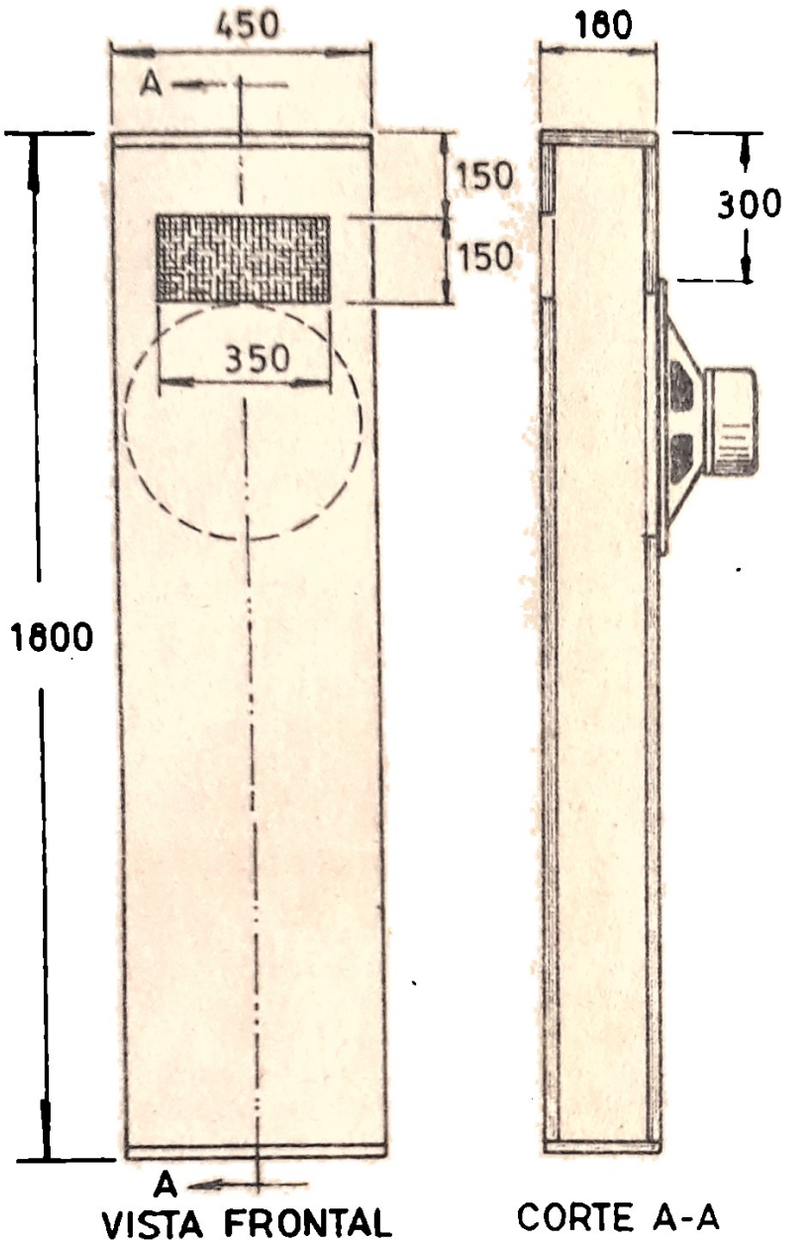


Fig. 47: Acoplador acústico de Flewelling, con el altoparlante aplicado desde la parte exterior del gabinete

lugar de hacerlo en un extremo, se acorta la longitud efectiva del tubo, elevándose la frecuencia de resonancia del parlante. La idea original de colocar éste en un costado, a cierta distancia del extremo, no es de *Flewelling*, sino de *Voigt*, quien obtuvo la patente correspondiente, basándose en el conocido principio utilizado por los fabricantes de pianos, de disponer los martillos de modo que golpeen sobre las cuerdas a 1/7 de la distancia de un extremo, con el fin de constituir un nodo y evitar, así, la formación de la séptima armónica, que es muy discordante. Como la vibración en el interior de la columna está formada por nodos y vientres, es evidente que disponiendo el parlante en un nodo el efecto será el mismo que el obtenido en el piano. El primer nodo de la tercera armónica se halla más o menos a 1/3 de la distancia desde el extremo cerrado. La mejor posición del parlante en el costado se encuentra experimentalmente.

En la figura 49 puede verse un proyecto de *Ralph West*, basado en la patente de *Voigt;* obsérvese que el parlante está colocado a una distancia igual a una cuarto de longitud de onda desde el extremo cerrado y que se ha dispuesto en forma inclinada. Esto último tiende a evitar que las reflexiones de las ondas sonoras en las paredes, que retornan al cono, produzcan efecto de cancelación, cosa que tiene lugar cuando la distancia a las paredes es igual a un cuarto de longitud de onda de alguna de las frecuencias radiadas. Ya hemos visto que esta era, asimismo, la causa por la cual los gabinetes abiertos atrás debían colocarse alejados de la pared. Con la disposición inclinada, la onda incide sobre las paredes en ángulo y no perpendicularmente, permitiendo que pueda colocarse mirando hacia un rincón, sin inconvenientes. Este sistema ha sido llevado a la comercialización por la compañía *Decca* (1949), en un gabinete que incluye un parlante de 20 cm (fig. 50).

Según *Flewelling*, su gabinete no requiere recubrimiento acústico interior. Sin embargo, esta es la causa, posiblemente, de que algunos hayan criticado los resultados logrados, ya que resulta claro que si bien

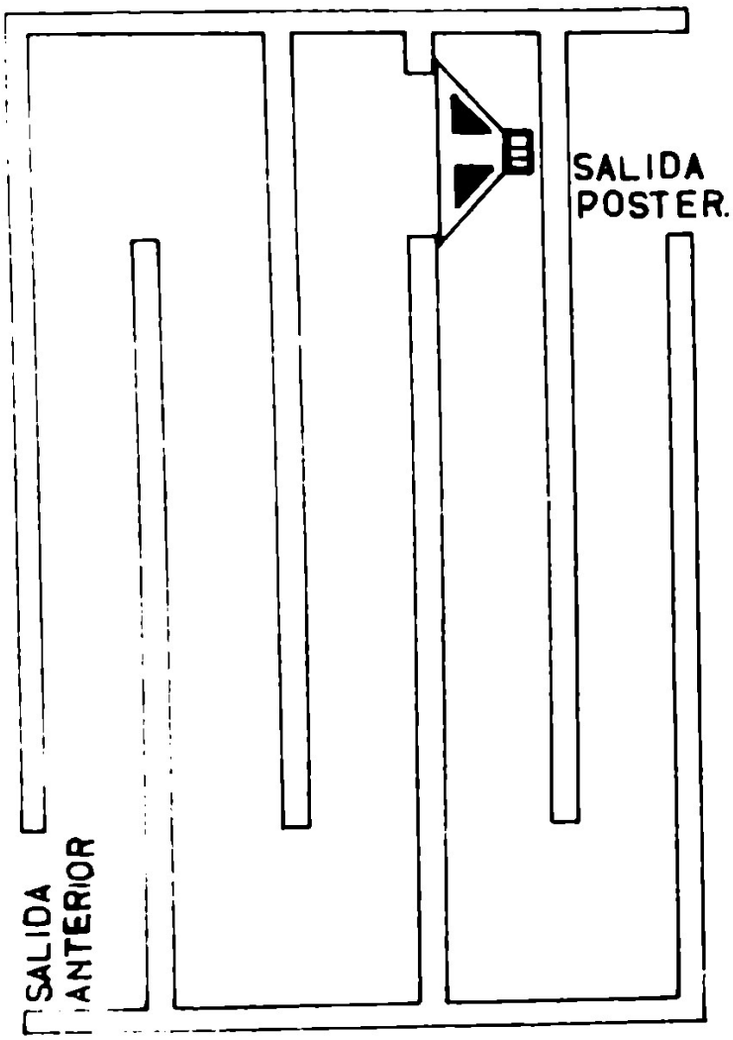


Fig. 48: En este tipo especial de acoplador acústico se han colocado dos salidas para las ondas sonoras, una delante, en la parte inferior y otra atrás, en la parte superior

el efecto del material absorbente no es muy elevado en estos tipos de gabinetes, ayuda a impedir efectos de coloración y alteración de la curva de respuesta por efecto de las ondas reflejadas. Además, se evita el refuerzo de las frecuencias más altas, debido a la inversión de la fase de la onda anterior del cono, que tiene lugar por arriba de la frecuencia cuya longitud de onda es igual al doble de la longitud del gabinete. Esto es tanto más razonable si se tiene en cuenta que el mismo *Flewelling* sostiene que su gabinete sólo debe utilizarse para la reproducción de frecuencias bajas, por lo que los agudos deben suministrarse con un sistema auxiliar independiente. Son estos efectos de resonancia los que han llevado a la creación de algunos gabinetes apoyados sobre su idea original, pero modificados con el agregado de particiones interiores.

Estos gabientes pueden colocarse vertical u horizontalmente, en forma indistinta, pero si se adopta esta última posición los resultados serán superiores, dado que se aprovecharán los efectos producidos por el piso que actúa como reflector. Igual mejora se obtendrá disponiendo el gabinete verticalmente en un rincón de la habitación, ya que se aprovechará el efecto desviador de las paredes. Se ha observado que, en esta disposición vertical, se consiguen más bajos colocando el gabinete con el orificio de salida hacia abajo.

Una versión interesante del gabinete *Flewelling* es la adoptada por la compañía *Jensen* con el nombre de *Transflex Unit* (fig. 54). El sistema reproductor completo fue mostrado en la Feria de Audio de la Primavera de 1952, en Chicago y, nuevamente, en la Feria de Audio de N.Y., en el mismo año. En realidad, el gabinete en cuestión constituye, igual que el *Flewelling* original, una parte de un sistema reproductor múltiple, la destinada a la reproducción de los graves extremos. En la figura 55 se muestra el diagrama, en conjunto del sistema con los cuatro canales y tres filtros divisores de frecuencias. Puede observarse que el espectro completo se divide primero, a los 45 Hz y el alcance por debajo de esta frecuencia es reproducido por la Unidad *Transflex*. El alcance de frecuencia por arriba de los 45 Hz es dividido, luego, nuevamente a los 600 Hz, reproduciéndose la banda entre los 45 Hz y los 600 Hz por medio de un altoparlante espe-

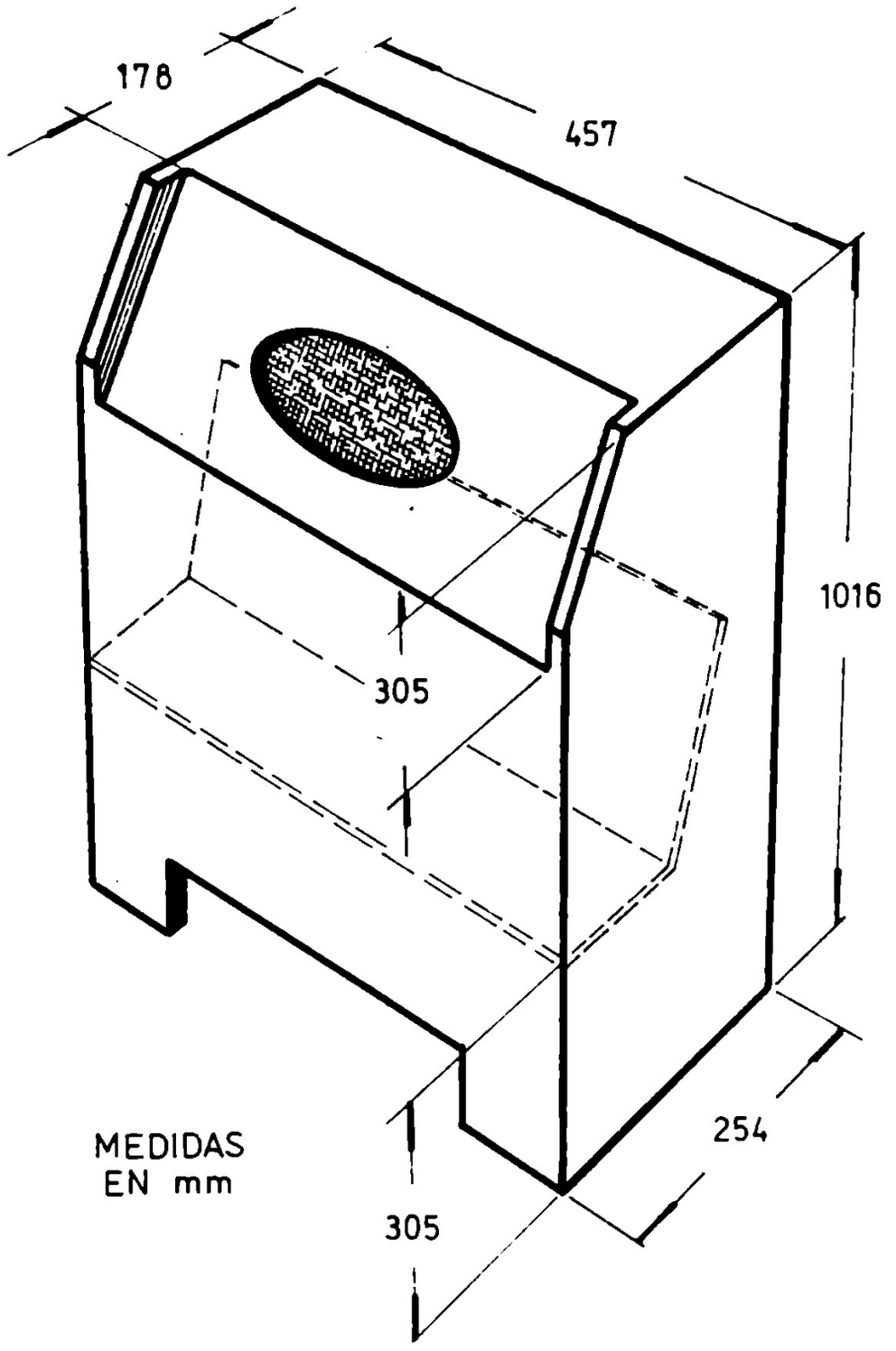
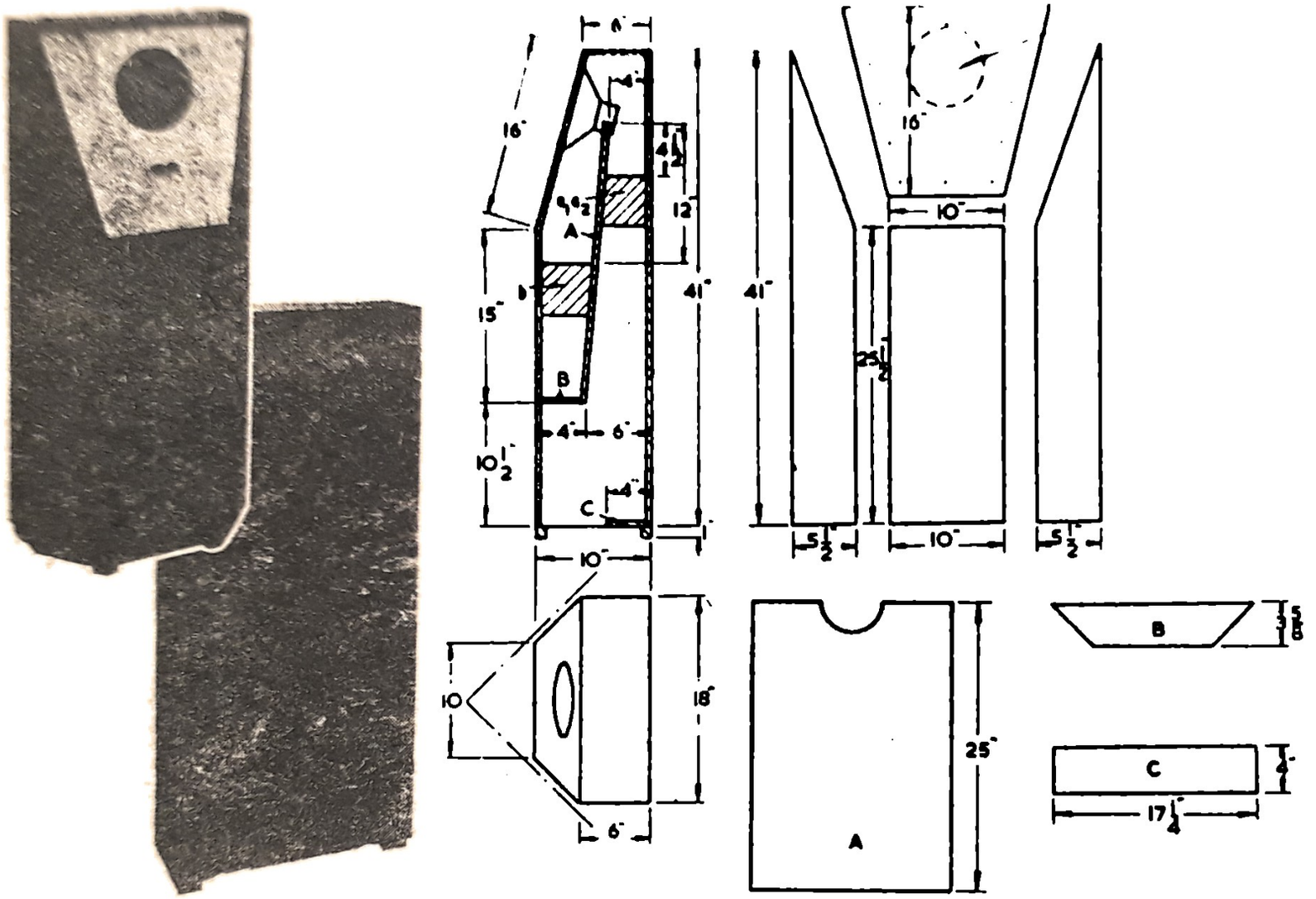


Fig. 49: Gabinete de Ralph Watt, basado en el sistema desarrollado por Voigt, caracterizado por tener un frente inclinado, para evitar las reflexiones de las ondas sonoras en las paredes



6"
4"
16"
4½"
12"
A
15"
41"
B
4"
6"
10½"
C
4"
1"
10"
10
18"
6"
41"
16"
10"
25½"
5½"
10"
5½"
25"
A
B
C
17¼"

Fig. 50

DECCA

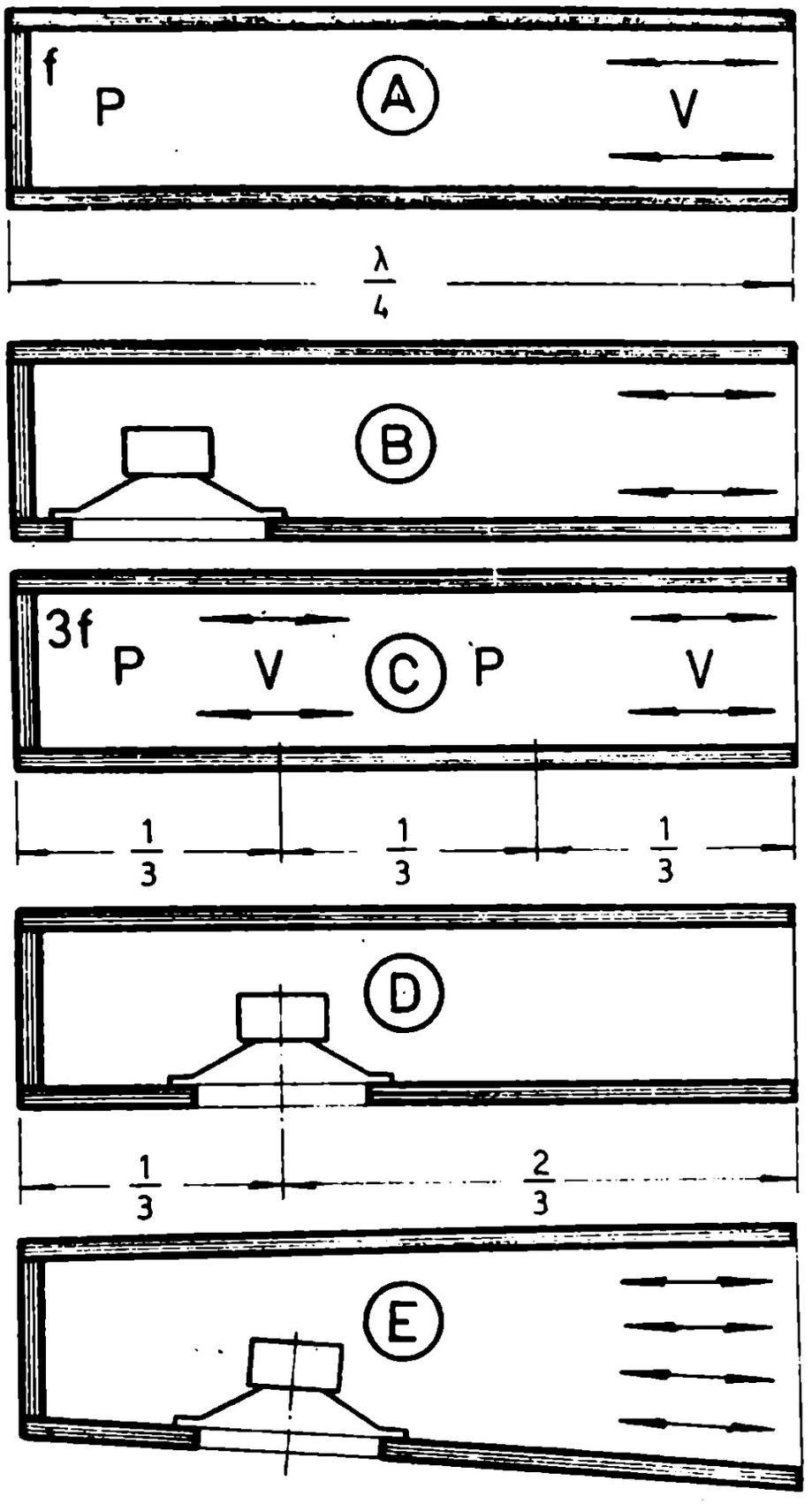


Fig. 50-B: Gabinete Decca tipo rinconera, que responde al sistema de columna resonante plegada. Obsérvese en (A) como un tubo resonante cerrado resuena a una frecuencia cuya longitud de onda es igual a cuatro veces la longitud física de la columna. En (B) se muestra que si se coloca un parlante en el extremo cerrado, el cono apenas si se moverá y casi todo el sonido se deberá al movimiento del aire en el extremo libre. En (C) se muestra que la columna también resonará a tres veces la frecuencia fundamental, de modo que 1/3 de distancia del extremo cerrado habrá otro vientre o zona de máxima velocidad del aide o mínima presión sonora. Colocando aquí el cono, se reduce el rendimiento a la frecuencia fundamental, cosa que es deseable para obtener una respuesta plana. La forma ahusada del gabinete permite un mayor amortiguamiento de la frecuencia de resonancia

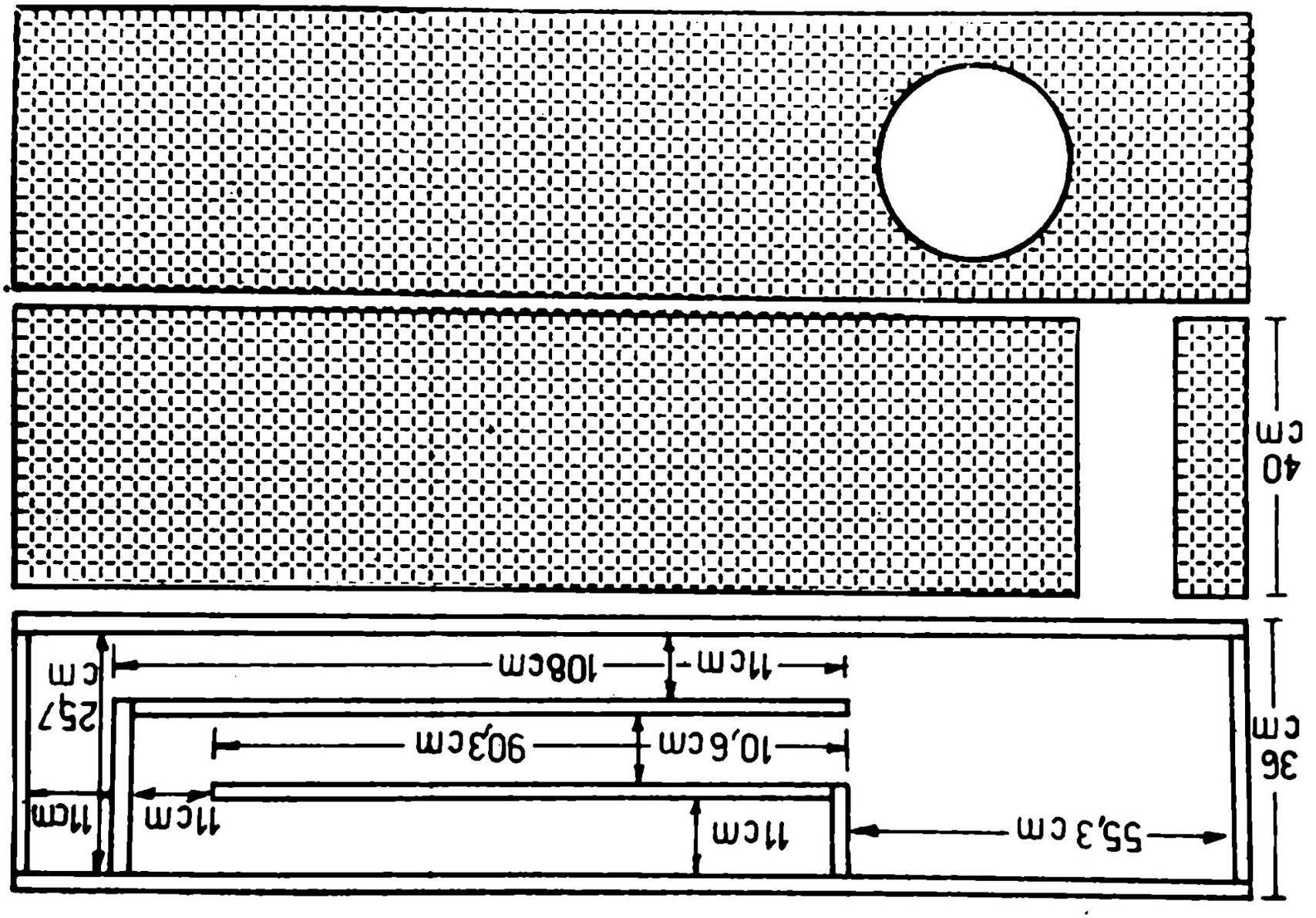


Fig. 51 : Versión modificada y mejorada del gabinete de Flewelling

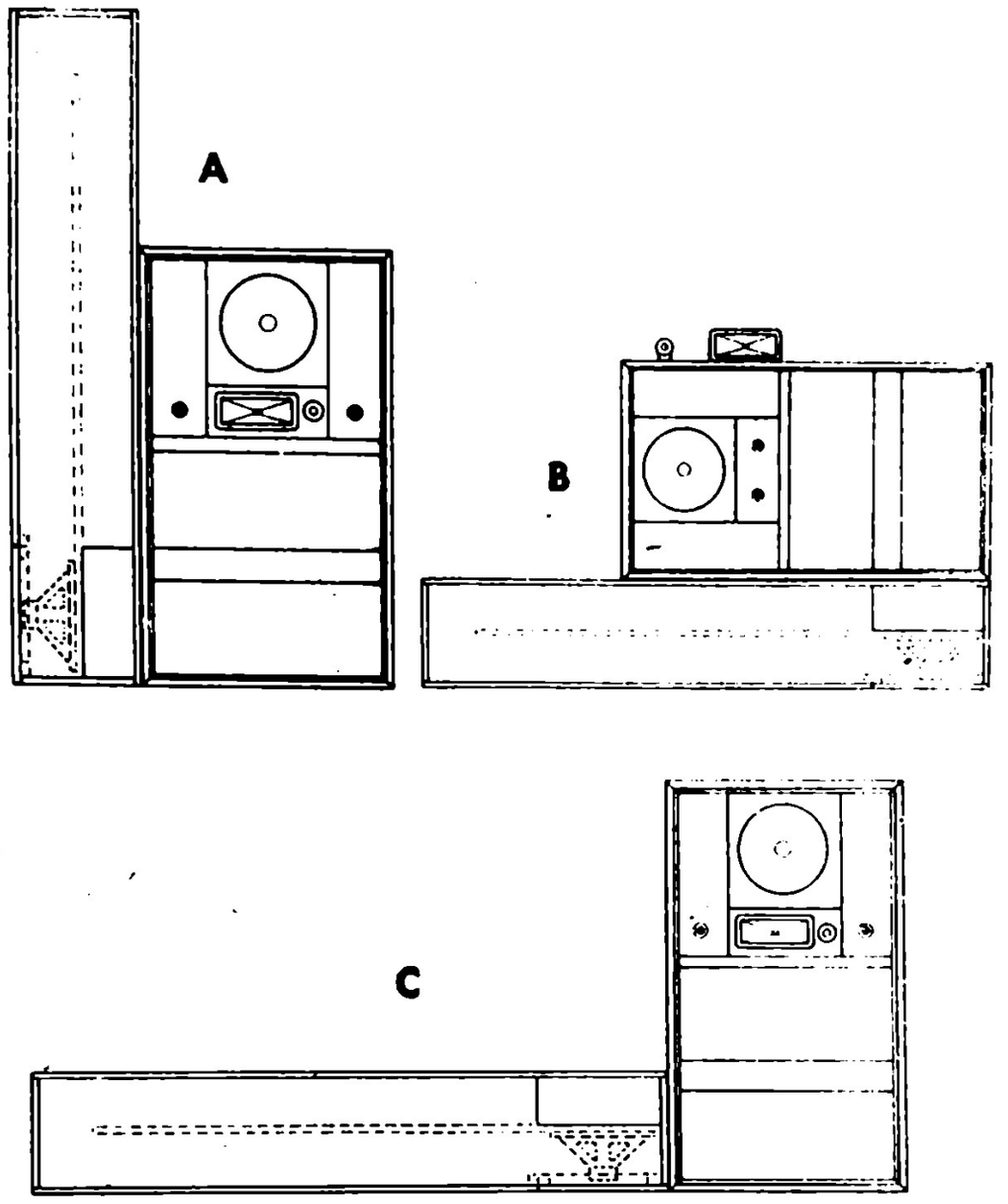


Fig. 52: El gabinete de la figura anterior puede adoptar distintas posiciones en la sala de escucha

cial de baja frecuencia de 38 cm (15") instalado en una bocina plegada con carga posterior. El alcance superior por encima de los 600 Hz es, luego, dividido a los 4000 Hz, reproduciéndose esta parte, entre los 6000 y los 4000 Hz por medio de una unidad de compresión de tamaño mediano, munido de bocina. Por último, el alcance de frecuencia por arriba de los 4000 Hz es reproducida por una unidad de frecuencias ultraelevadas.

En la fig. 56 puede verse una versión

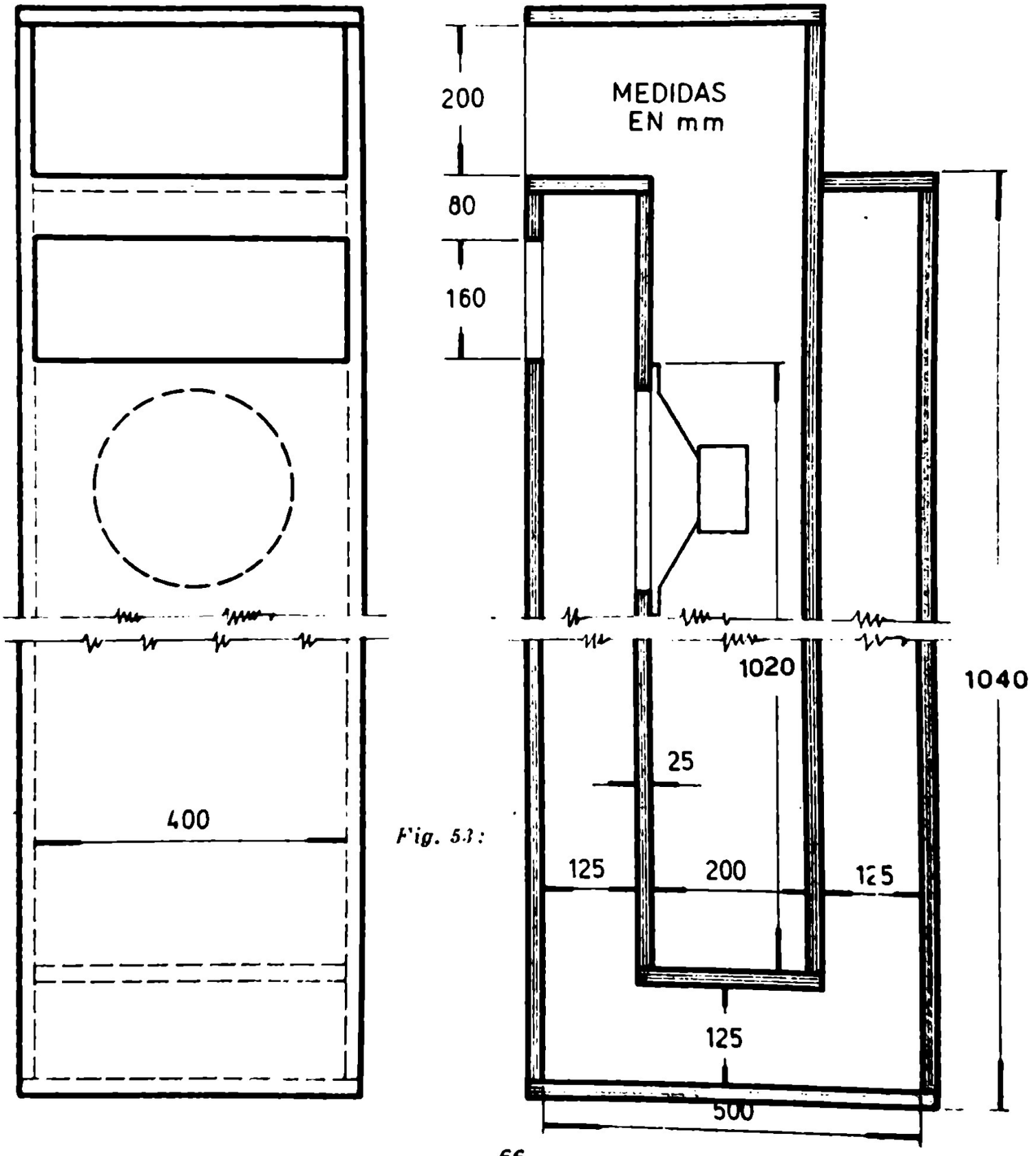


Fig. 5.3:

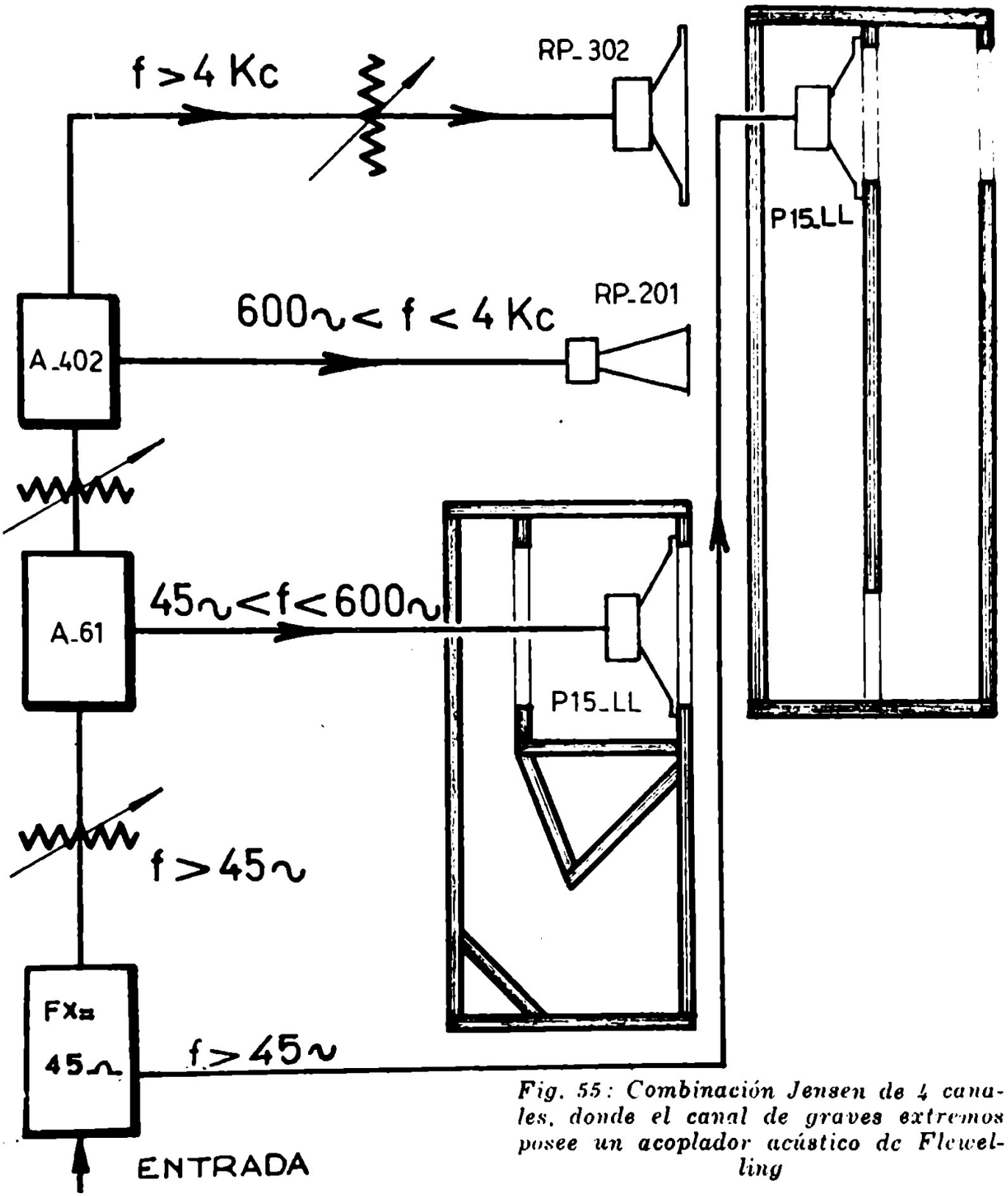
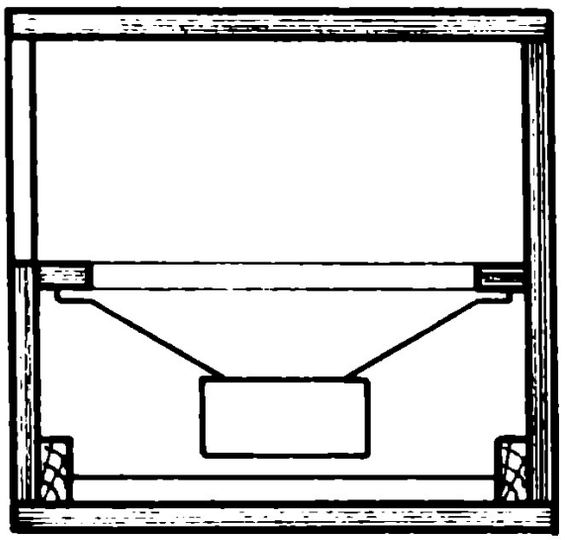
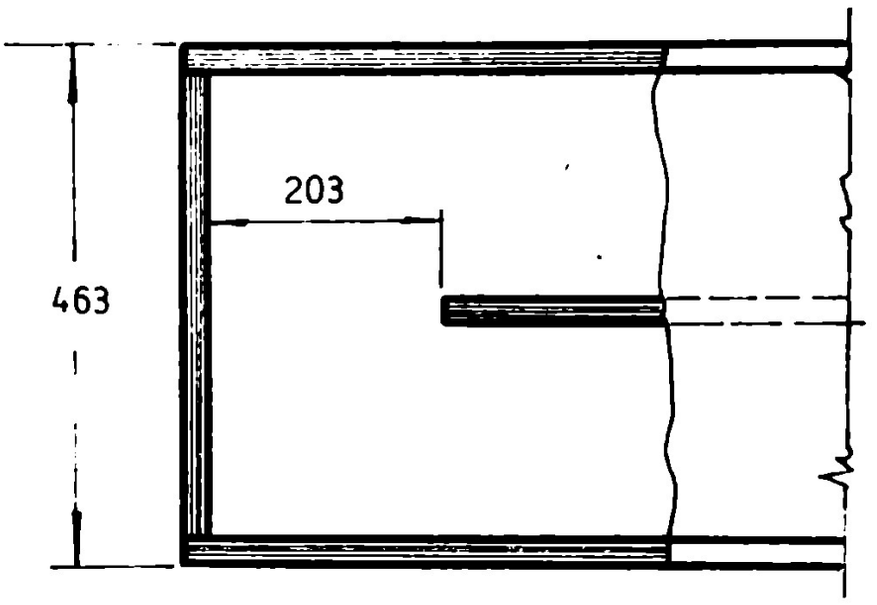
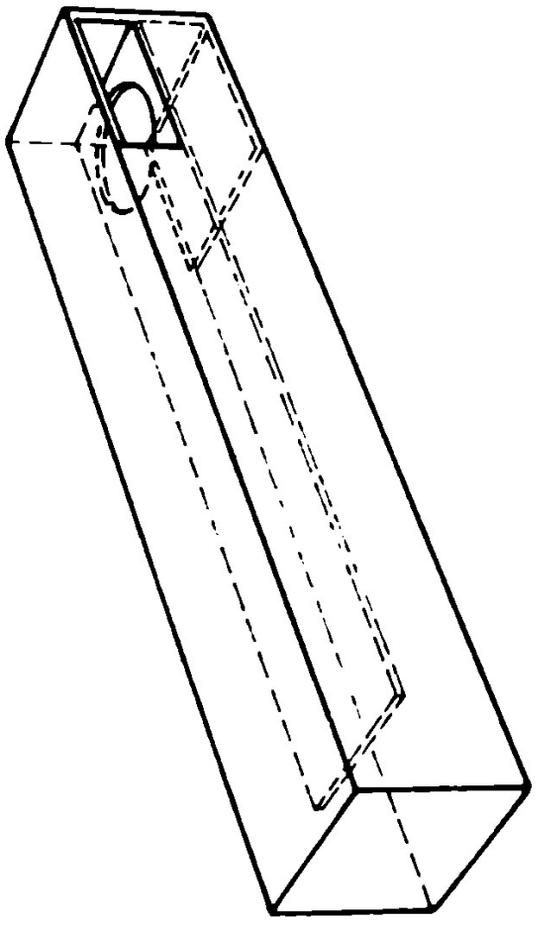
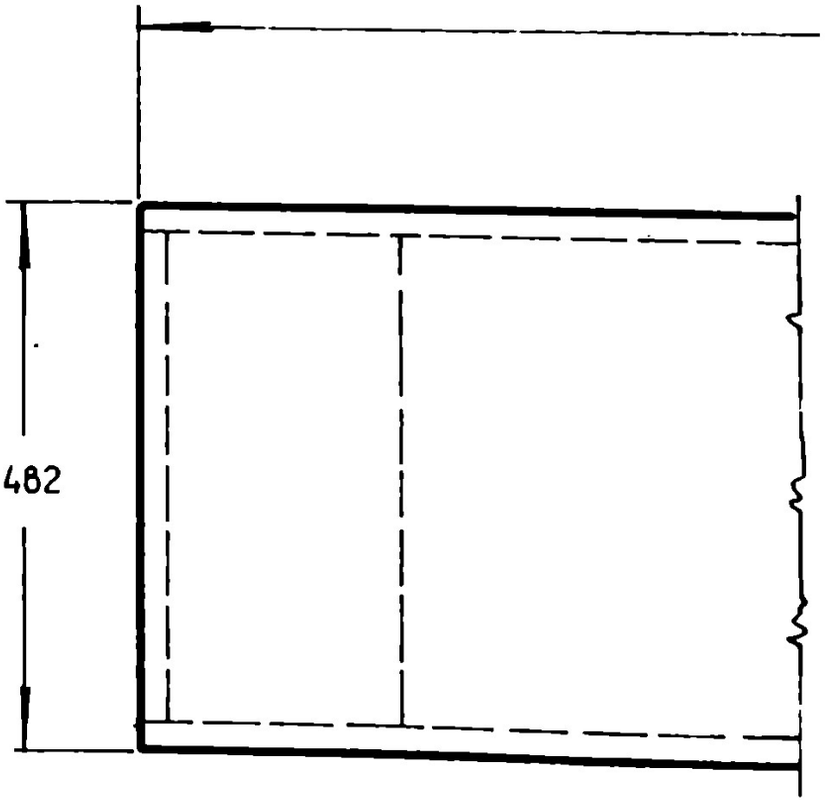


Fig. 55: Combinación Jensen de 4 canales, donde el canal de graves extremos posee un acoplador acústico de Flewelling




203
463




482

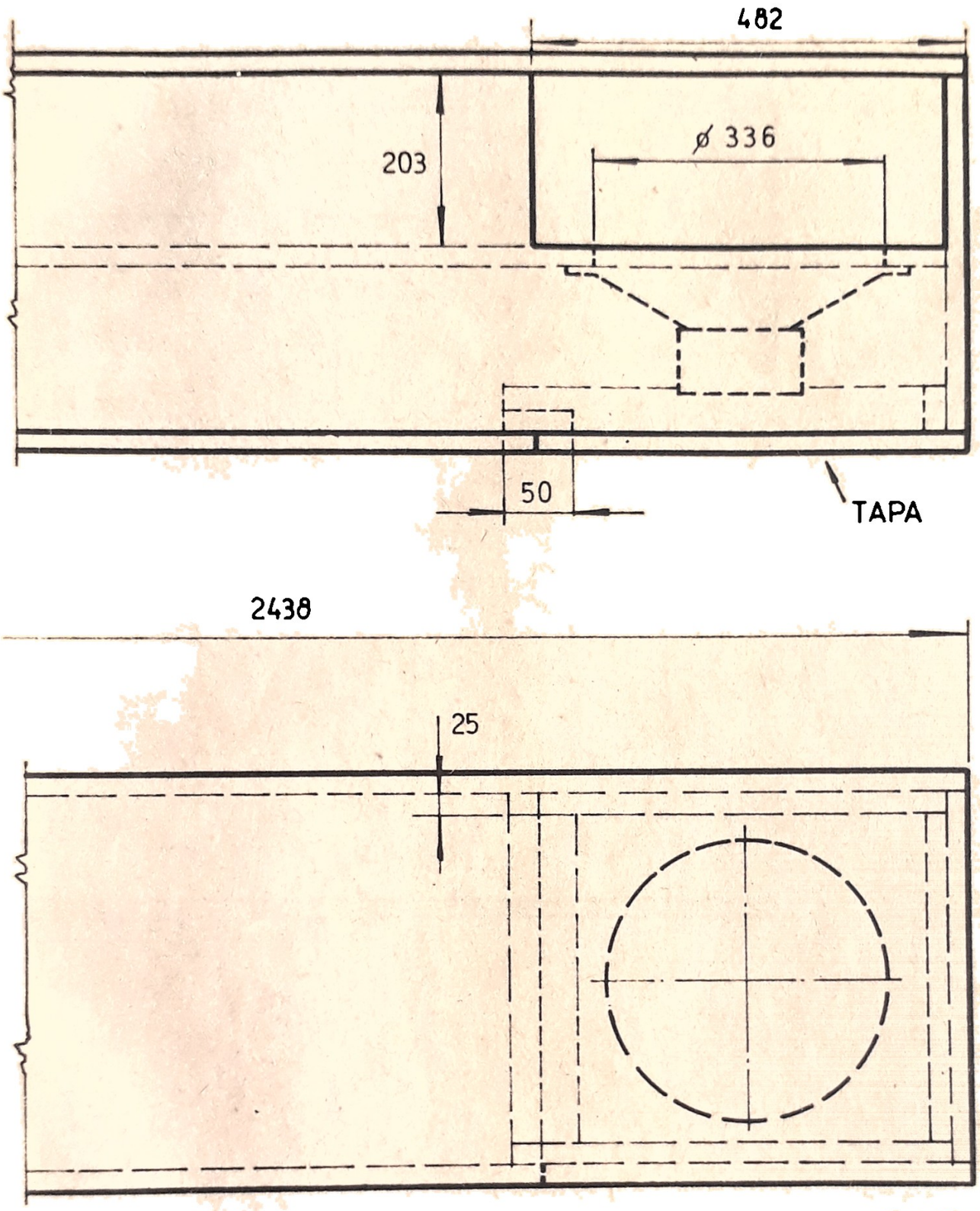
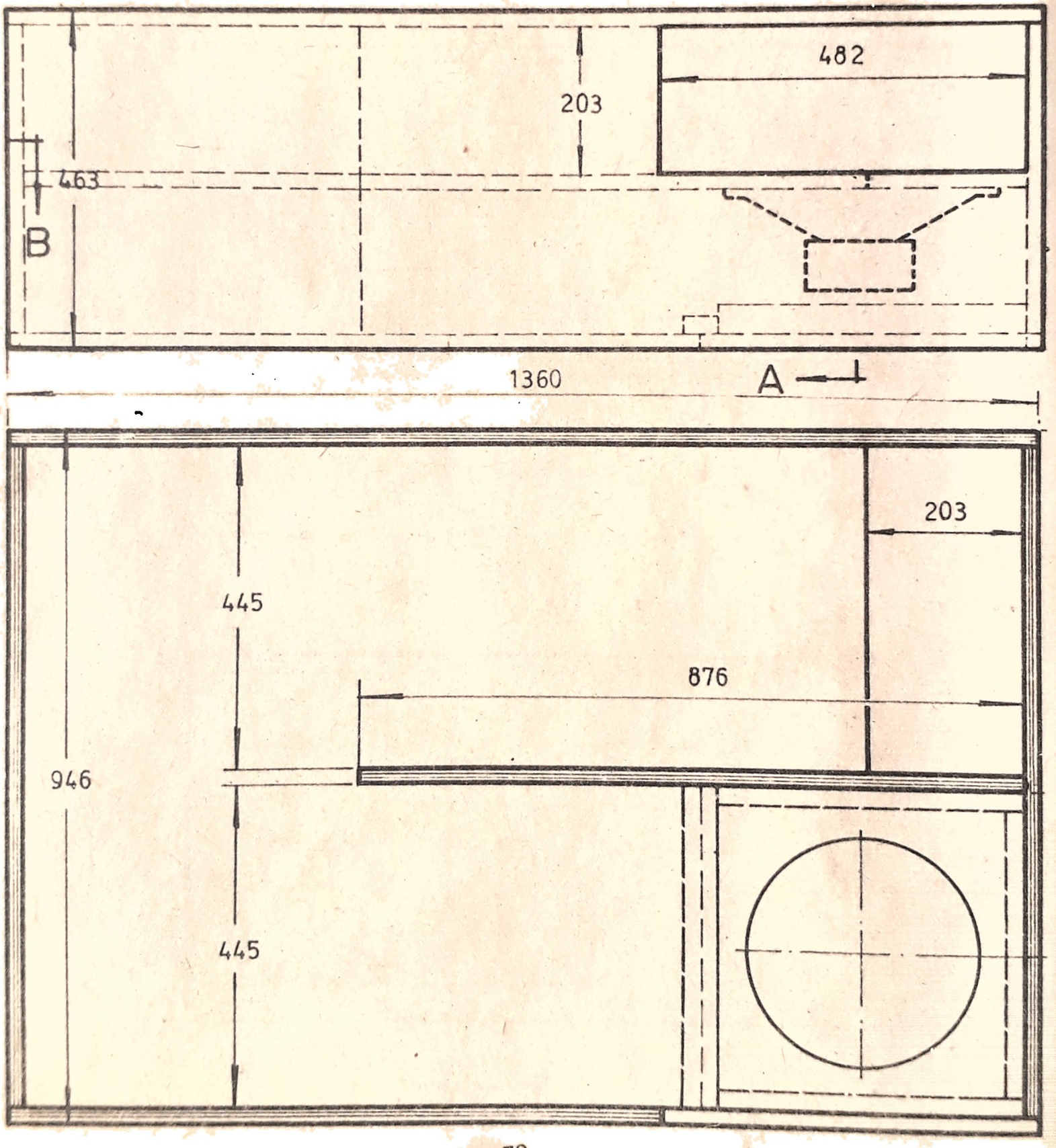
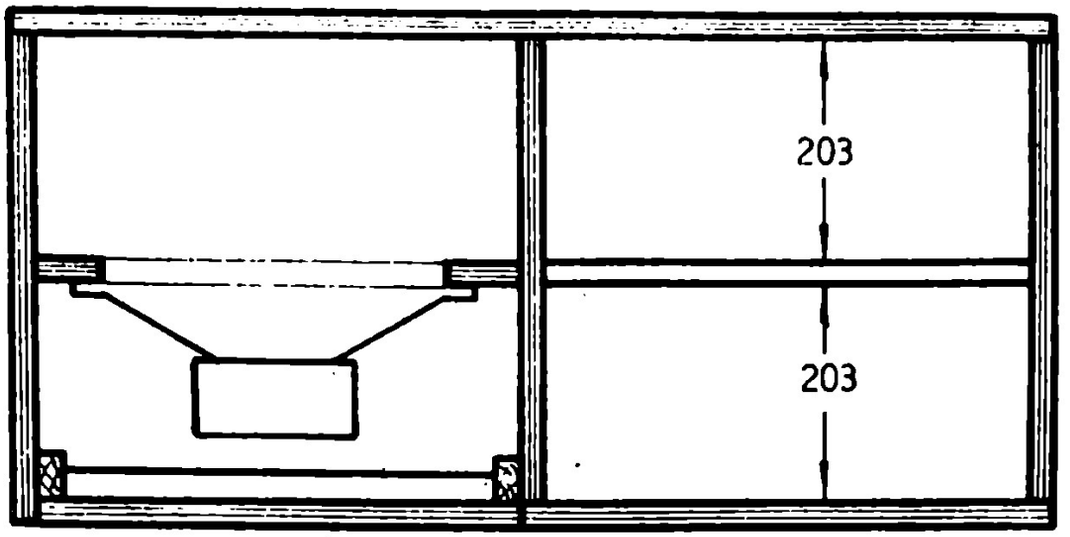
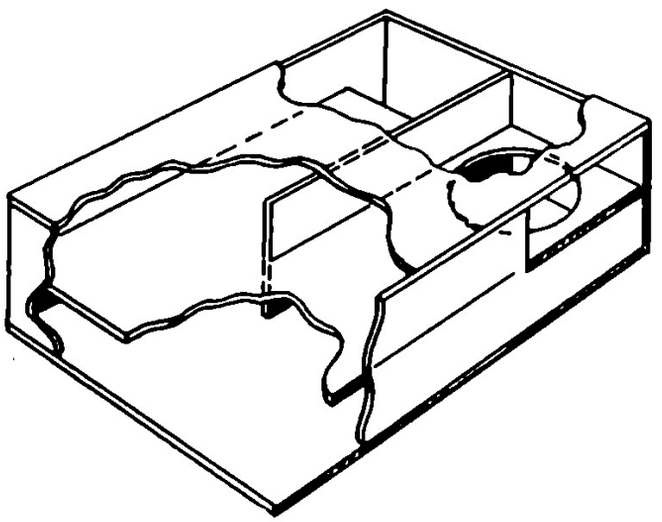


Fig. 54: Versión comercial (compañía Jensen) de la columna de Flewelling, conocida como Transflex Unit


482
203
463
B
1360
A
203
445
876
946
445



CORTE A-A



CORTE B-B

Fig. 56: Otra versión de la unidad Transflex, que suministra una estructura total más corta

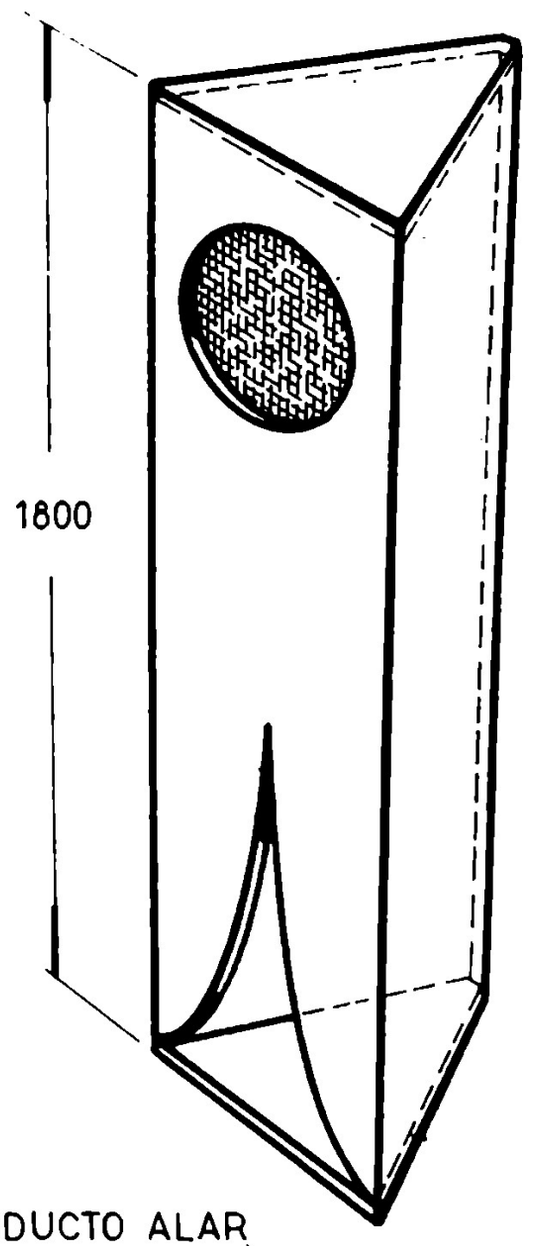
de esta unidad "Transflex", la cual es plegada nuevamente, a fin de permitir una estructura total más corta, pero de mayor profundidad. La longitud total de la línea de transmisión es igual a un medio de longitud de onda de una frecuencia aproximada de 40 Hz.

Tal como ya hemos establecido anteriormente, para los otros tipos similares de gabinetes, la unidad "Transflex" reproduce una banda de sólo un poco más de una octava, por debajo de los 45 Hz. El empleo de estas unidades sobre anchos de bandas mayores no es recomendable, debido a que tendrá lugar una salida extremadamente variable, por efecto de las resonancias. El aire vibrante en el interior del gabinete es acoplado al exterior por medio de la abertura; el diafragma del altoparlante contribuye muy poco, debido a su pequeña amplitud de desplazamiento, gracias al fuerte amortiguamiento producido por la columna resonante. La deformación resultante en estas condiciones, se reduce al mínimo, puesto que en la abertura o ventanilla no existen efectos de alinealidad.

EL GABINETE BATES

Un proyecto completo de una columna resonante que incorpora el principio del extremo con hendidura exponencial de *Karlson*, es el desarrollado por *Raymond H. Bates*. Se trata de un gabinete rinconera, de forma de prisma triangular, de 1,80 m de largo cuando se lo considera en su desarrollo (fig. 57), pero que se reduce solamente a la mitad de esta altura a consecuencia de habérselo plegado por el medio (fig. 58).

Algo más atrás, vimos el efecto que sobre un tubo cerrado por un extremo tenía una abertura del tipo exponencial. Vimos



CONDUCTO ALARGADO CON UN EXTREMO CERRADO Y UN ABIERTO EN FORMA EXPONENCIAL

$\lambda = 4\,l$

$f_o = \frac{1100}{24}$

$f_o = \frac{V}{\lambda}$

$f_o \cong 46$

Fig. 57: Principio de la columna resonante dotada de una hendidura de progresión exponencial en un extremo

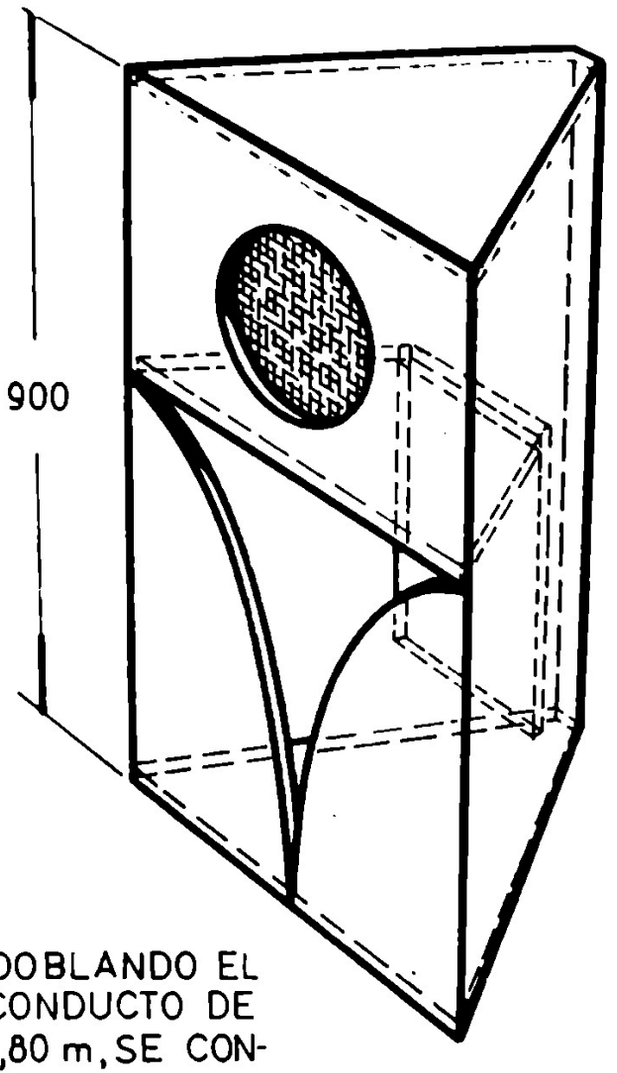


Fig. 58: La misma columna reducida de altura, debido al efecto de plegamiento

cómo era posible ir ensanchando gradualmente las resonancias de las armónicas impares hasta lograr una respuesta continua y relativamente plana cuando el largo de la ranura exponencial es igual a dos tercios del largo total del tubo. Aplicando esta idea, el gabinete Bates es, pues, un tubo con un extremo cerrado y el otro abierto con una ranura de desarrollo exponencial. La sección triangular permite ubicarlo en un rincón de una habitación, pero sus proporciones no son las más adecuadas para lograr un efecto estético y agradable. Por ello, el autor recurre al arbitrio de doblarlo en dos partes, mediante la introducción de un panel de separación. Por supuesto, el doblado del tubo hace que la ranura se desarrolle invertida con respecto al piso de la habitación, pero esto no cambia las cosas de manera fundamental. Al contrario, aproxima a la parte anterior del cono la mayor masa de aire en movimiento.

Para un buen comportamiento, es necesario que las proporciones de un tubo sean tales que su longitud sea considerablemente mayor que el diámetro o su diagonal (siendo rectangular o cuadrado) o la altura del triángulo de la base (si es rectangular). El parlante se monta en el extremo cerrado, mientras que el otro extremo se abre por medio de una abertura o ranura exponencial de longitud igual a dos tercios del largo total. No obstante, en el gabinete *Bates* se aplica otro criterio. Ya que sólo carga la parte posterior del parlante (contrariamente al *Karlson* que carga también la anterior), y puesto que en este gabinete interesa que la abertura irradie bajos y no altos, ya que estos se irradian directamente por la parte anterior, la ranura puede ser de longitud menor que el ideal de dos tercios aconsejable cuando se desea cubrir una banda extensa de frecuencias. En resumen, por la parte anterior del cono se irradian todas las frecuencias, desde las más bajas a las más altas que pueda producir el parlante, mientras que la ranura aumenta las frecuencias bajas solamente por el efecto de reflector de bajos.

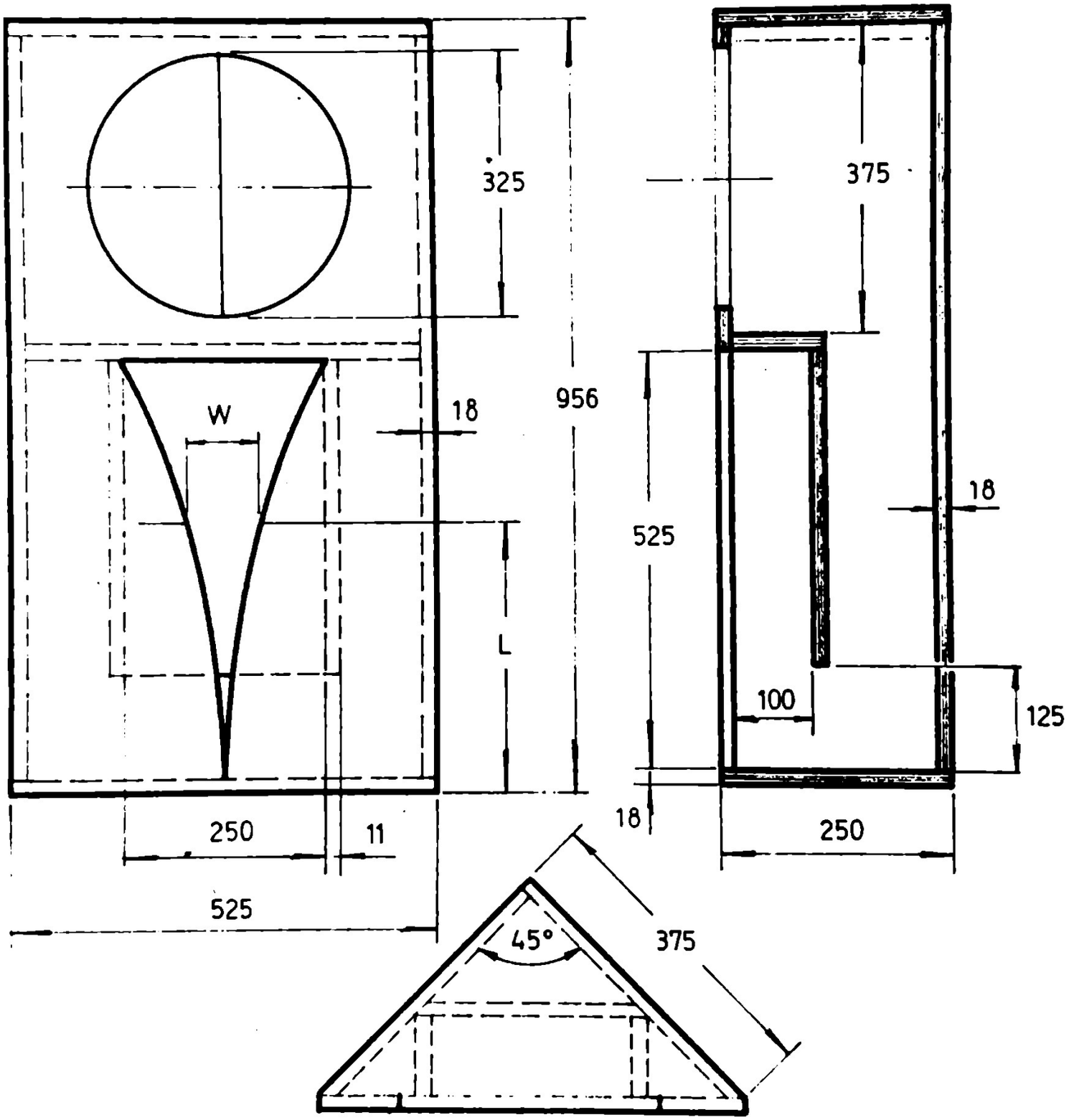


Fig. 50: EL GABINETE DE GATES

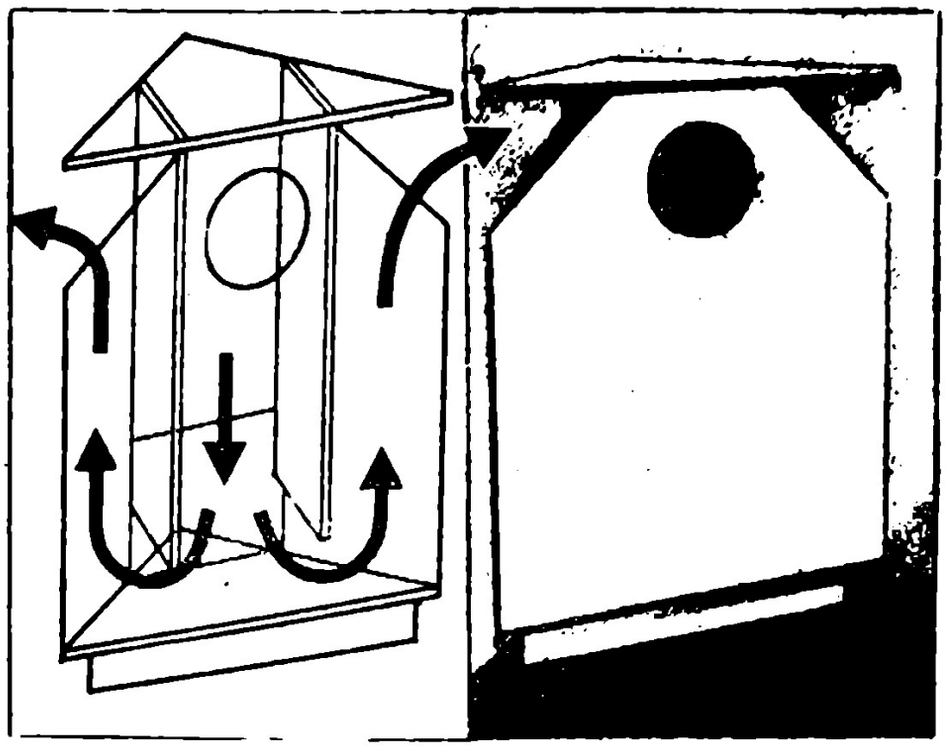
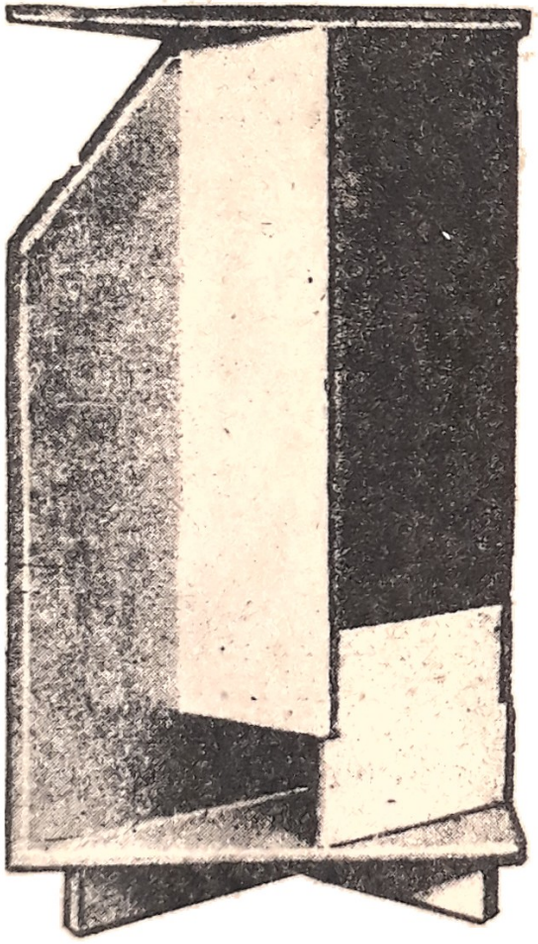
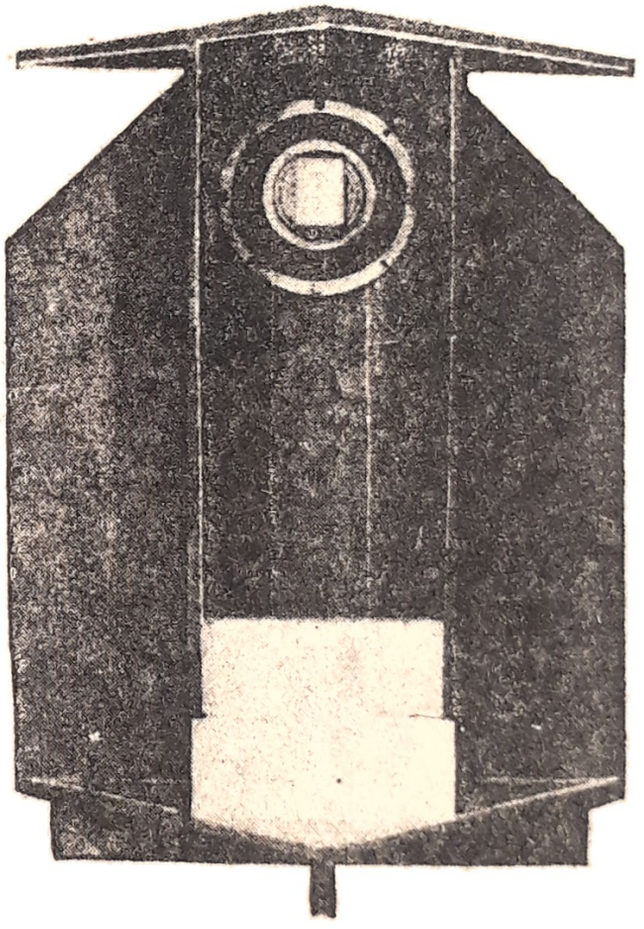


Fig. 61: Vista exterior y "fantasma" del laberinto económico

Fig. 62 (abajo): Vista por atrás del laberinto económico





DESARROLLO DE LA RANURA EXPONENCIAL

Longitud (L)		Ancho de la ranura (W)	
En mm	En pulgadas	En mm	En pulgadas
25.4	1	11.7	0.46
50.8	2	13.2	0.52
76.2	3	16.3	0.64
101.8	4	20.3	0.80
127.—	5	25.4	1.00
162.5	6	31.5	1.24
178.—	7	38.6	1.52
203.—	8	47.7	1.88
228.5	9	56.4	2.22
254.—	10	67.—	2.64
280.—	11	79.2	3.12
305.—	12	91.9	3.62
330.—	13	06.—	4.18
356.—	14	21.—	4.76
381.—	15	37.9	5.42
406.—	16	155.—	6.10
432.—	17	173.1	6.82
457.—	18	193.—	7.60
482.—	19	214.—	8.42
508.—	21	263.—	9.30
533.—	21	263.—	10.34

EL LABERINTO MAS ECONOMICO

D. B. Weems ha desarrollado un laberinto acústico por demás económico y de fácil construcción. Tal como él lo describe, sus seis partes fundamentales pueden ser ensambladas en una hora de trabajo solamente.

Se emplea "celotex" para su construcción, debido a que es un material poco resonante, requiriendo muy poco amortiguamiento interno. Opera este gabinete (si así puede llamárselo) como rinconera y emplea un altoparlante de 20 cm de diámetro (8"). La parte posterior está formada por las paredes de un rincón de la habitación; como estas paredes están a 45 º con el frente del gabinete, reduce la posibilidad de formación de ondas estacionarias.

El mismo autor, en una segunda versión, ha efectuado algunas modificaciones, completando la pared posterior, a la cual se ha introducido en su parte inferior una abertura triangular. Como la tapa del ganete no llega hasta las paredes de la habitación, sino que forma una separación también triangular, se constituye un tercer túnel para el sonido, tal como se muestra en la fig. 64.

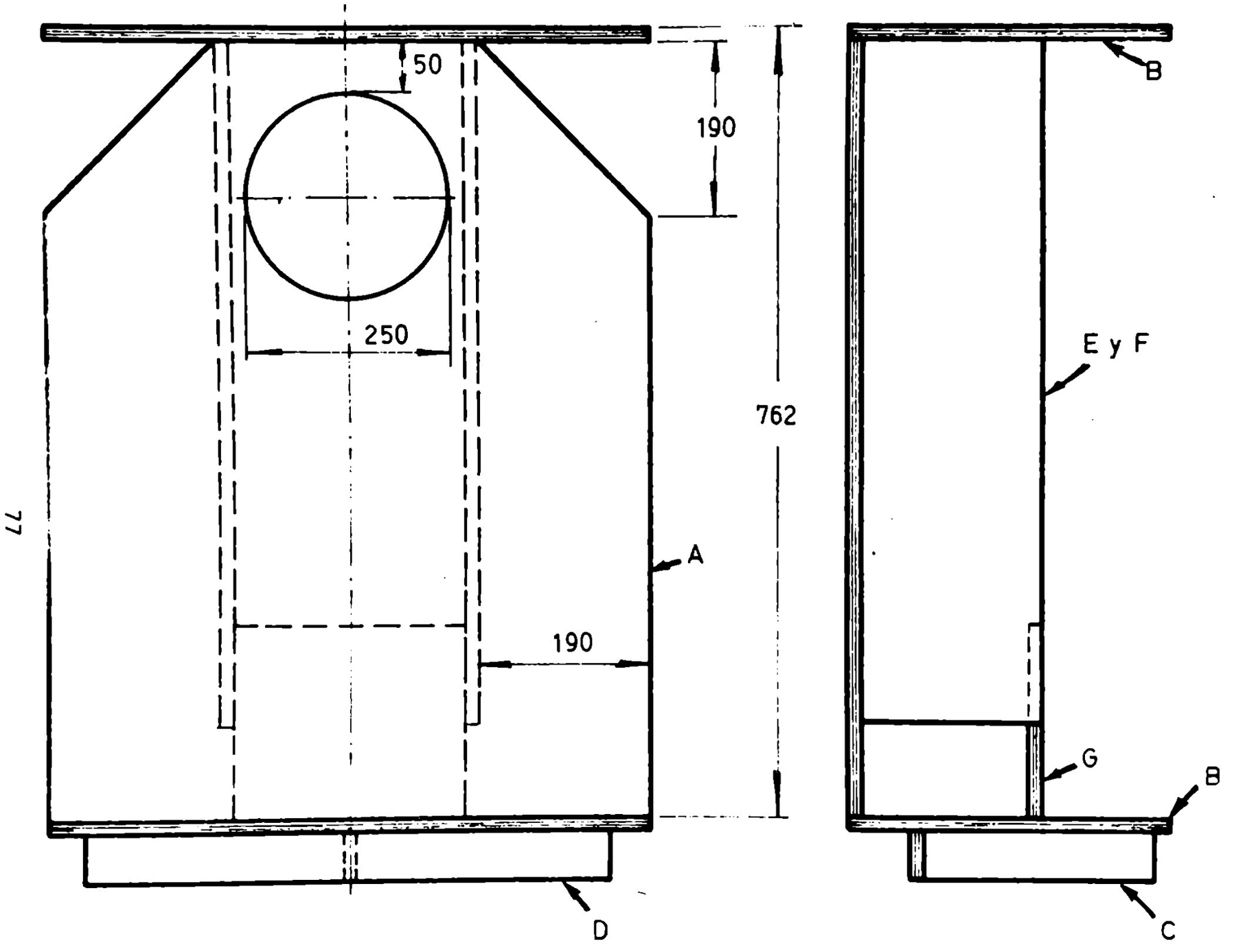


Fig. 63 (A): detalles para la construcción del laberinto económico

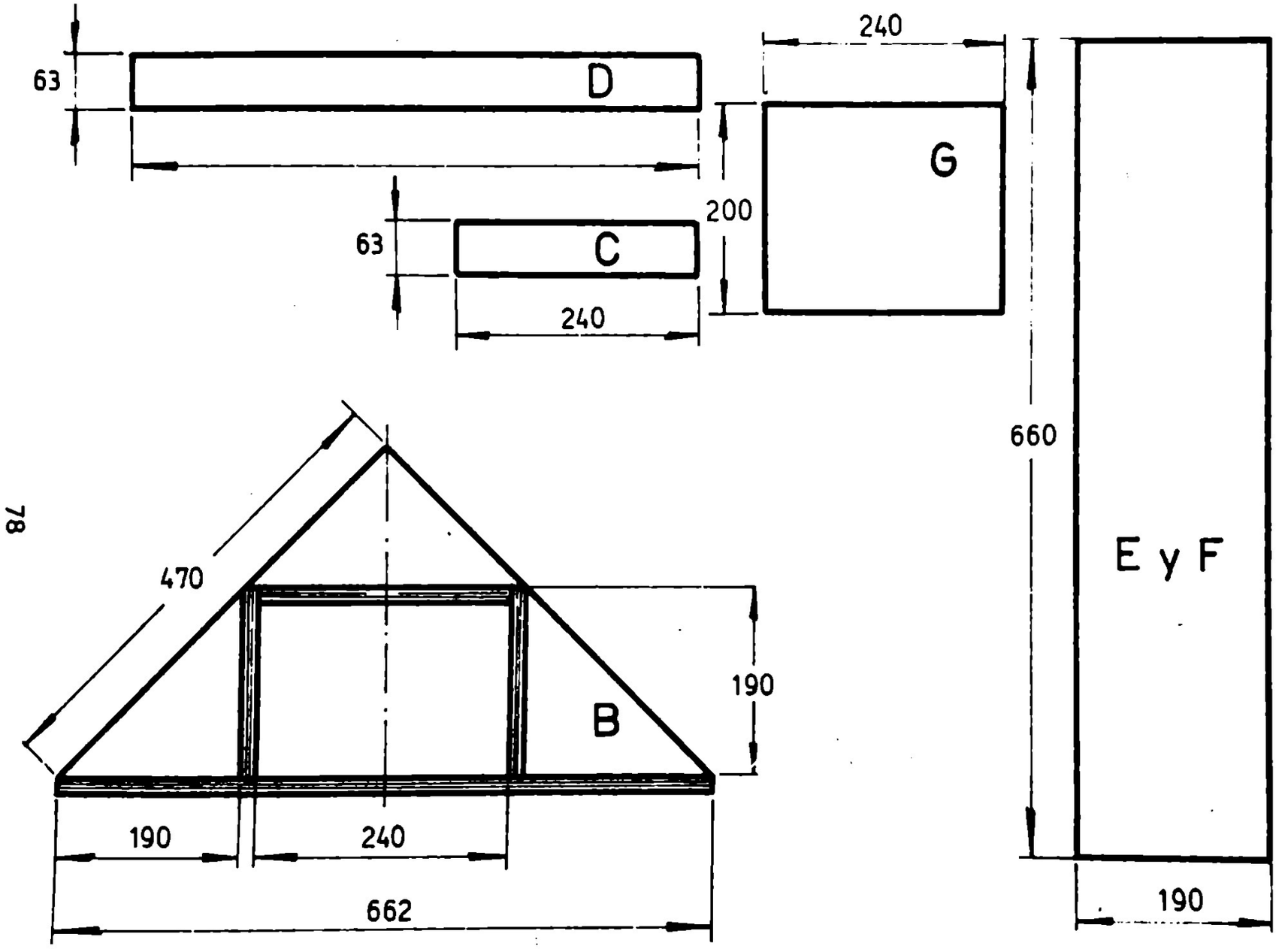


Fig. 63 (B): Más detalles para la construcción del laberinto económico

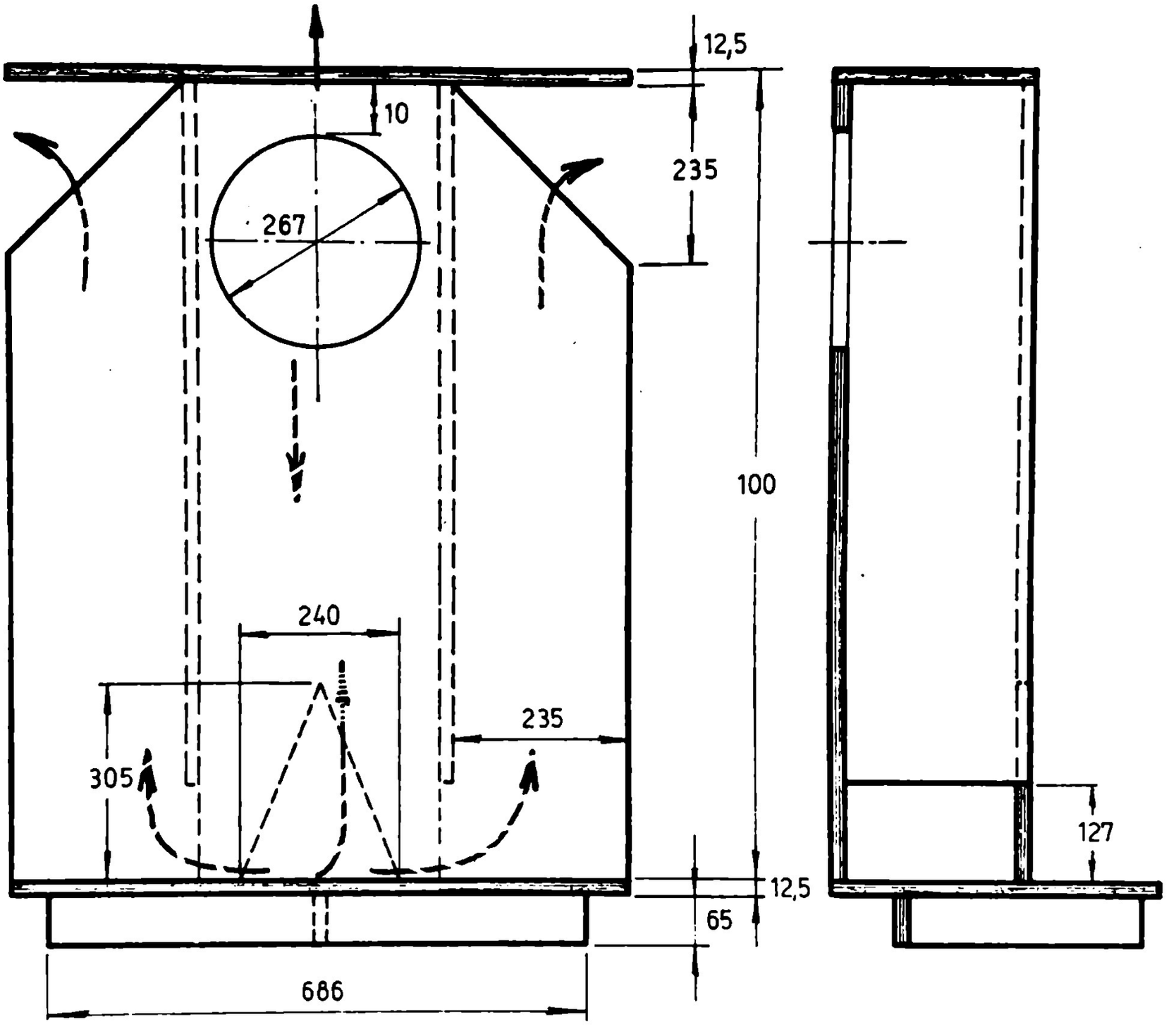


Fig. 64 (A): Modificaciones del laberinto económico, constituyendo un tercer canal

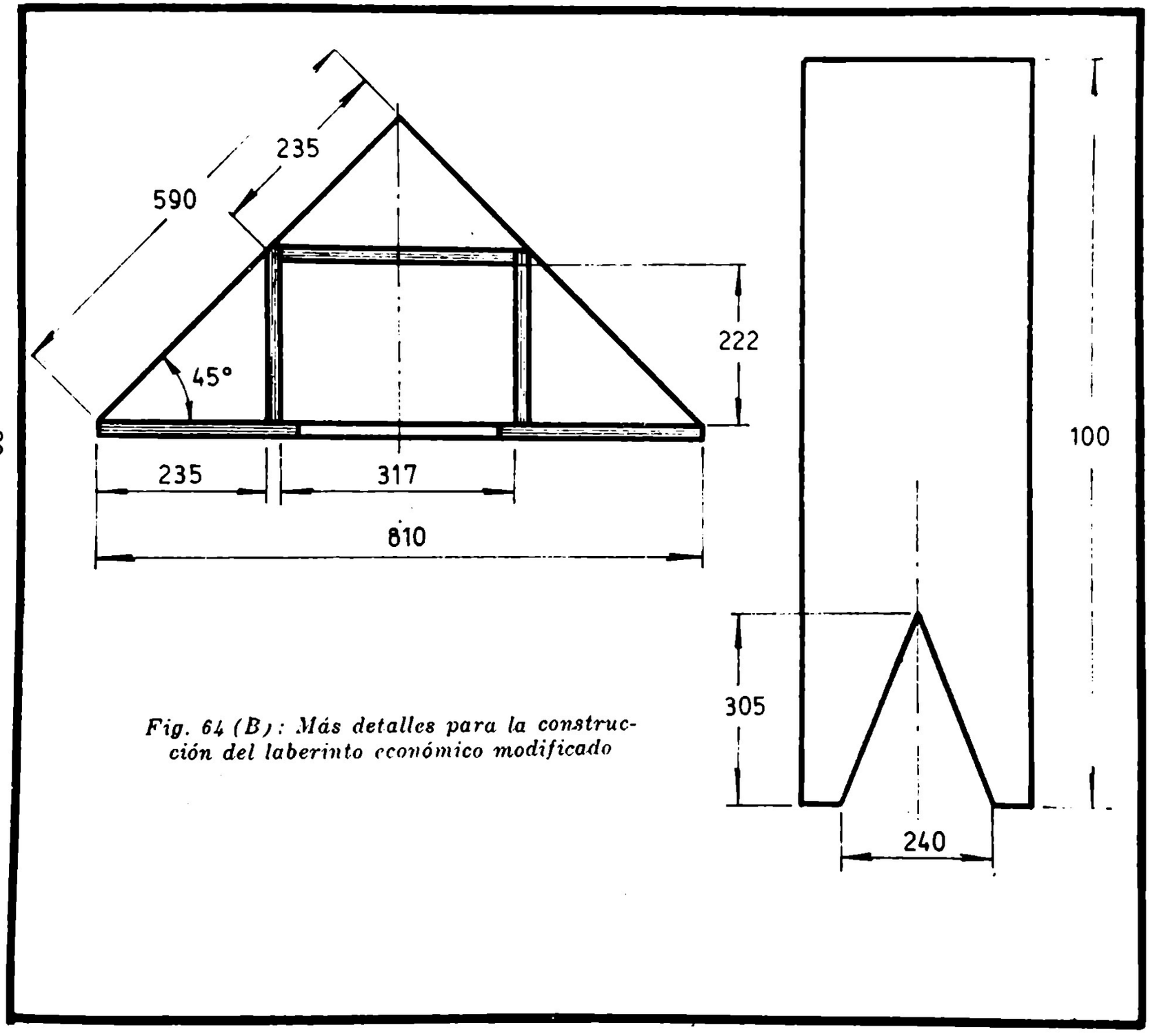


Fig. 64 (B): Más detalles para la construcción del laberinto económico modificado

3

LA BOCINA

La bocina puede definirse como un *transductor acústico*, formado por un tubo cuya sección aumenta progresivamente, a un régimen dado. De la teoría matemática de este dispositivo, se deduce que así como en los circuitos eléctricos se emplean transformadores, para transferir energía entre dos sistemas eléctricos de distintos valores de impedancia, permitiendo tal equilibrio la obtención del máximo de rendimiento, también la bocina puede considerarse como un transformador que acopla dos sistemas acústicos de distintas impedancias: el diafragma del parlante por un lado y la carga representada por el aire por la otra.

Esta propiedad fundamental de la bocina puede exponerse gráficamente, tal como se muestra en al fig. 65, donde se ha considerado una bocina ideal, sin pérdidas de potencia acústica en su trayecto, de modo tal que la potencia acústica aplicada por el altoparlante a la embocadura, es igual a la potencia que se desarrolla en la boca. Tal potencia está dada por el producto de la presión por el volumen de la masa de aire puesto en movimiento. Resulta claro que en la embocadura esta masa es pequeña, siendo en cambio máxima la presión aplicada, ya que toda la fuerza está concentrada sobre una superficie muy pequeña. En cambio, en la boca, la masa de aire puesto en movimiento alcanza valores máximos, pero la presión será un mínimo, pues la fuerza está distribuida sobre una superficie mucho más amplia.

Ahora bien, una gran masa de aire en movimiento significa una baja impedancia acústica, así como una gran intensidad de corriente significa una baja resistencia eléctrica, lo que nos permite afirmar que si bien en la boca de la bocina la impedancia acústica es muy baja, en cambio es muy alta en la embocadura.

Resumiendo: el agregado de la bocina al altoparlante permite poner en movimiento grandes masas de aire con una elevada eficiencia, y lo más importante es que este incremento del acoplamiento entre el diafragma vibrante y la carga acústica no se habrá conseguido mediante el aumento de las dimensiones de ese diafragma, con su lastre representado por el aumento de masa, rigidez e inercia. Todo sucede, en la práctica, tal como si se hubiese aumentado la superficie del diafragma, hasta alcanzar las dimensiones de la boca de la bocina, sin aumentar su peso.

DIFERENCIAS ENTRE UN TUBO Y UNA BOCINA

En primer lugar, un tubo abierto no responde a todas las frecuencias igualmente. Más bien exhibe fuertes resonancias a aquellas frecuencias para las cuales su longitud es igual a un número de medias longitudes de onda, o sea $l = n \lambda/2$.

Esta ecuación representa la condición para la formación de ondas estacionarias, que son las resultantes de dos ondas similares viajando en direcciones opuestas en

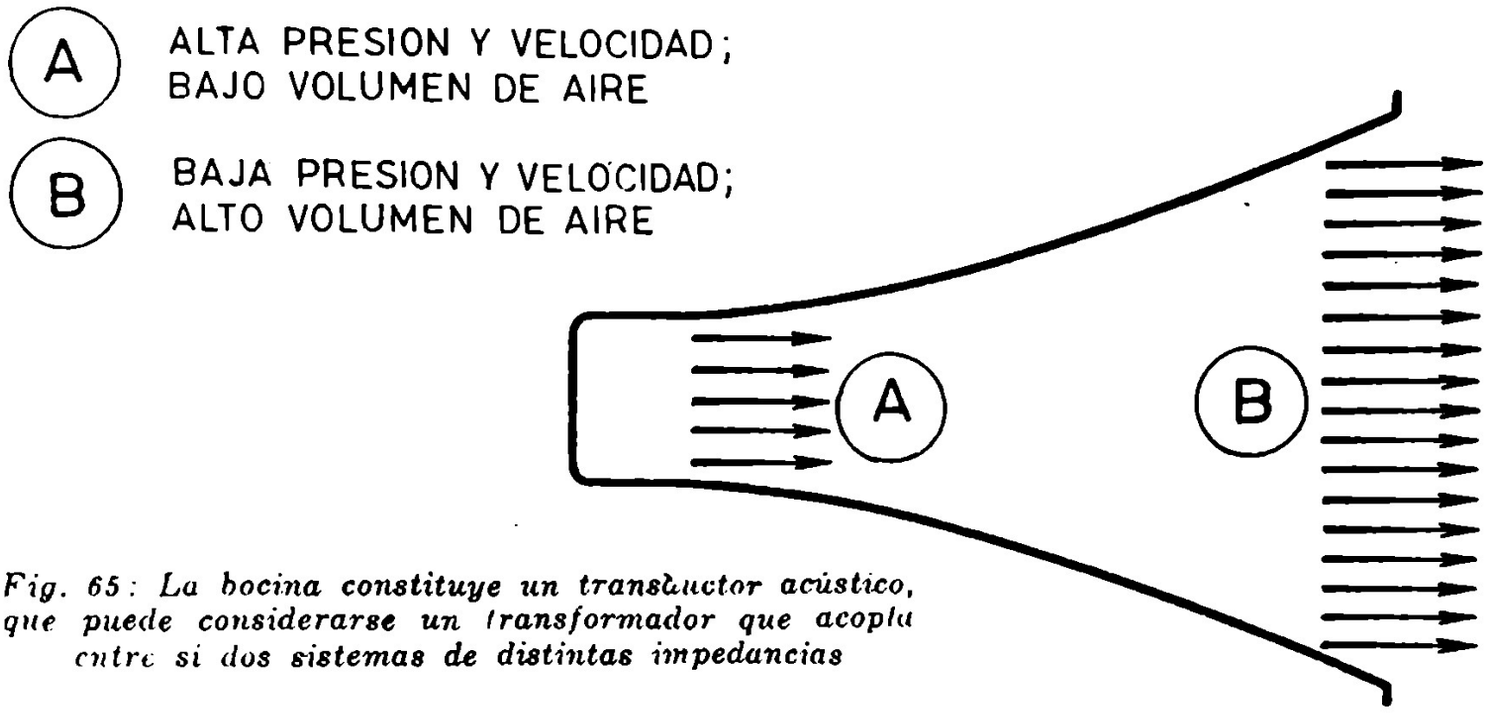


Fig. 65: La bocina constituye un transductor acústico, que puede considerarse un transformador que acopla entre sí dos sistemas de distintas impedancias

el tubo. La onda directa es el modo deseado de propagación, en tanto que la retornante es producida por las reflexiones que tienen lugar en el extremo abierto. En general, las reflexiones se producen siempre que existe una discontinuidad en la columna de aire, a menos que la longitud de onda sea pequeña comparada con el diámetro del tubo. Para un tubo uniforme, las reflexiones se producen en el extremo abierto, donde la sección transversal cambia bruscamente desde un pequeño valor a un gran valor (casi infinito).

Un largo tubo acústico puede ser considerado como una línea de transmisión acústica, con su propia impedancia característica (tal como ya lo hemos visto en el capítulo anterior). Como se sabe, en las líneas finitas de transmisión se producen reflexiones en el extremo, a menos que la línea termine en su propia impedancia característica.

La diferencia entre el tubo y la bocina es ésta: la impedancia del tubo es constante a través de toda su longitud, en tanto que la impedancia en la bocina, debido a su acción transformadora, varía a través de su longitud. A cierta frecuencia, donde la longitud de onda no es pequeña comparada con las dimensiones de la boca, la bocina exhibirá reflexiones, con las consiguientes resonancias y formación de ondas estacionarias. El problema, entonces, consiste en reducir la magnitud de estas resonancias a un valor pequeño.

No pueden eliminarse completamente, debido a que ninguna bocina de tamaño práctico puede realizar un perfecto equilibrio de impedancias con el interior de la habitación común. Afortunadamente, este problema no es tan serio como parece.

La mayor parte de las bocinas son empleadas en habitaciones que exhiben diversos modos resonantes de vibración. Las ondas estacionarias que se producen por las resonancias de la habitación no se consideran, ordinariamente, objetables. Las resonancias de la bocina pueden reducirse al punto donde son enmascaradas por las resonancias de la habitación. Cuando se hace esto, los resultados son superiores a los obtenidos por medio de altoparlantes

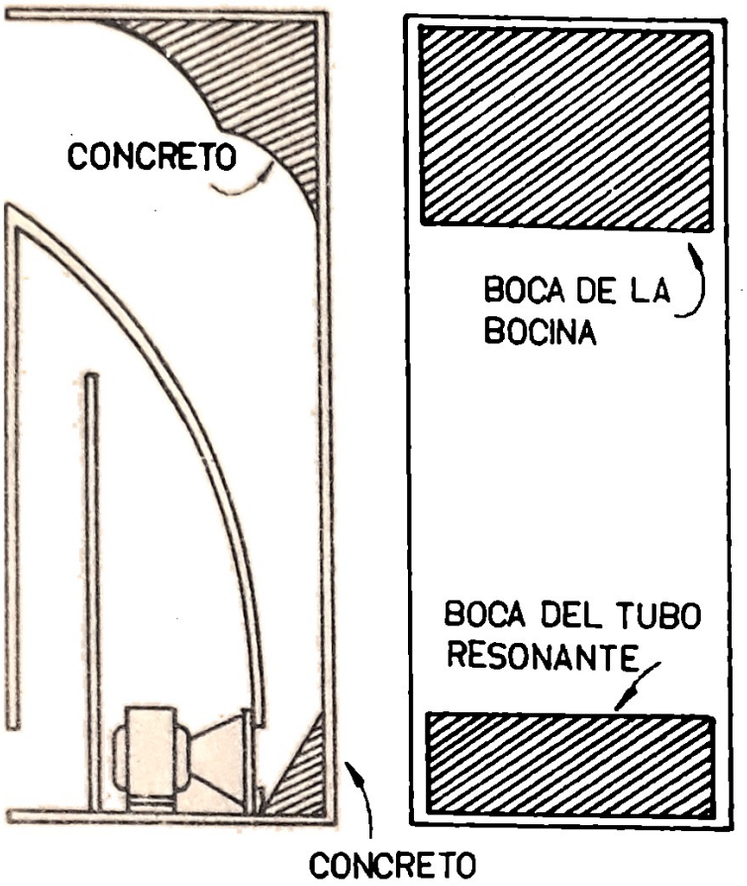


Fig. 66: Bocina original de Voigt, con carga por tubo resonante en la cara posterior del cono del altoparlante

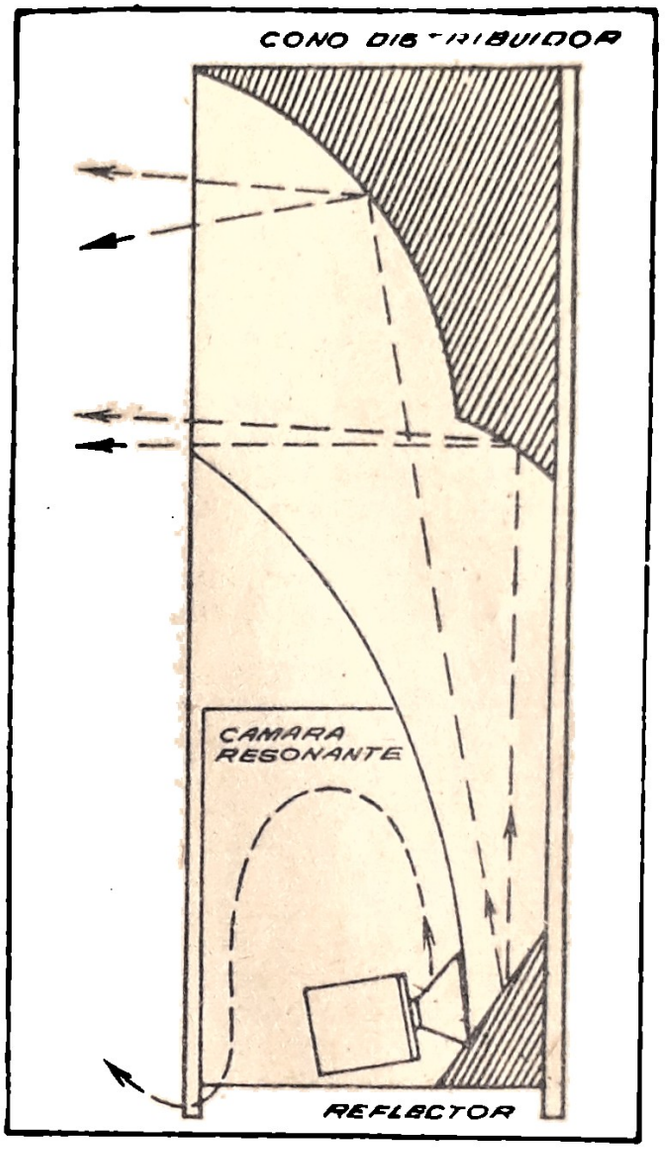


Fig. 67 (a la derecha): Otra versión de la bocina de Voigt

sin carga de bocina. Las resonancias de la bocina pueden reducirse empleando uno de los tres métodos siguientes:

1) hacer la longitud grande;
2) utilizar dos o más regímenes de expansión, en diferentes secciones de la bocina;
3) colocar la bocina en un rincón de la habitación, de modo tal que el piso y las paredes formen una virtual prolongación de la bocina. Este método suministra la mejor adaptación de impedancias posible entre el generador (altoparlante) y la carga (habitación).

LA PRACTICA DE LA BOCINA

Es fácil deducir, de lo expuesto, las enormes dimensiones que debe tener una bocina para poder reproducir, sin deformación, las notas más bajas del espectro audiofrecuente. Estas dimensiones se ven incrementadas si se utiliza como altoparlante una unidad del tipo de compresión, puesto que la embocadura inicial será muy pequeña.

Con el fin de reducir las dimesiones de la bocina, puede emplearse, por lo tanto, un altoparlante común de radiación directa, pero ello perjudicará las frecuencias más altas.

Todo esto ha conducido al expediente de aplicar las bocinas solamente para la reproducción de frecuencias menores de 500 Hz canalizando las frecuencias mayores a otras unidades más chicas, especialmente proyectadas.

Colocando un parlante de gran diámetro (o varios de diámetros menores) en la embocadura, puede llegarse a reducir en forma bastante aceptable la longitud de la bocina para graves, pero aún así resultará —por lo general —poco apta para su inclusión en ambientes familiares.

LA BOCINA DE VOIGT

Con el fin de poder aprovechar los beneficios de las bocinas en el hogar, diversos autores han ido ofreciendo, a través del tiempo, una serie de ideas prácticas, consistentes todas ellas en disimular la bocina en un ambiente común en la mejor forma posible. Una de las primeras ideas, en este sentido, fue la bocina de *P. G. H. Voigt*, cuyo esquema puede verse en la fig. 66. Como esta bocina no reproduce adecuadamente las frecuencias menores de 50 Hz, se le ha agregado un tubo resonante de extremo abierto acoplado a la parte posterior del parlante, aumentando así el rendimiento en las frecuencias menores, tal como ya lo hemos estudiado al comentar la teoría del tubo y laberinto acústico. En la fig. 67 se muestra otro proyecto del mismo autor, donde el tubo resonante ha sido reemplazado por una cámara resonante, que hace el mismo efecto. Obsérvese la presencia del reflector y del cono distribuidor de concreto, que permiten una más correcta distribución de las frecuencias menores impidiendo la formación de ondas estacionarias. La salida de la onda posterior se efectúa por la parte inferior del mueble, entre éste y el piso.

La compañía *Jensen* ha creado un gabinete, que ha recibido el nombre de *"Laboratory Standard Speaker RS-100"*, y puede apreciarse en la fig. 68, que muestra una vista frontal, lateral y por arriba. Tal como puede verse, la carga por bocina se efectúa sobre la parte posterior del parlante, en lugar de hacerlo sobre la onda anterior, como en los casos antes estudiados; la onda posterior emerge por adelante, después de sufrir un doblez de 90º, a través del orificio rectangular destinado a los parlantes para agudos. El parlante para graves está dispuesto dentro de una cámara de acoplamiento, cuya garganta se abre en la parte inferior. La bocina tiene una progresión exponencial, en el sentido de que a iguales distancias se produce la duplicación de la superficie. Los proyectistas de este gabinete, *Daniel J. Plach* y *Philip B. William*, han aplicado en este caso el principio de la "anulación de reactancia", basado en los siguientes conceptos. El extremo de las frecuencias mayores puede ser extendido tornando más liviano el cono, haciéndolo más rígido o bien aliviando a la bobina móvil. Pero todo esto tiende a degradar el comportamiento en el extremo de las frecuencias menores. Aquí es donde los investigadores citados aplican el principio de la anulación de la reactancia, con el fin de anular mutuamente los factores limitadores en el parlante y en la bocina, proyectando elementos de modo que se complementen.

Por debajo de la frecuencia de resonancia un parlante está controlado por elasticidad, o sea que la suspensión es la que determina principalmente la velocidad. En estas condiciones la salida cae y la deformación aumenta. Desde el punto de vista mecánico el comportamiento del cono, por debajo de la frecuencia de resonancia es de naturaleza capacitiva. Por su parte, una bocina presenta una carga de naturaleza compleja constituida por una parte resis-

tiva y una parte reactiva, de naturaleza inductiva. En uno bocina infinita la resistencia de la garganta o embocadura es cero y la reactancia de masa máxima. Es una bocina práctica la parte resistiva no es cero, sino que se aproxima a ese valor por debajo de la frecuencia de corte de la bocina. De todo esto se deduce que para obtener la anulación de reactancias deberá hacerse que la frecuencia de resonancia del parlante se disponga más alta que la frecuencia de corte de la bocina, lo que permite que la reproducción sea clara y limpia, sin deformaciones, por debajo de la frecuencia de resonancia, pudiendo llegarse hasta los 32 a 35 Hz y con potencia relativamente elevada.

Con las dimensiones presentadas, la frecuencia de corte de la bocina es de 40 Hz; la superficie de la boca es de 0,37 m^2, valor que se eleva a 2,6 m^2 en el rincón de la habitación, por efecto de las imágenes agregadas, efecto que ya estudiaremos en detalle más adelante.

La frecuencia de transición entre medios y agudos se ha dispuesto en los 600 Hz. De los 300 a los 600 Hz la radiación es efectuada directamente por la parte anterior del cono de graves, en tanto que por debajo de los 300 Hz se aprovecha la onda posterior cargada por bocina. La onda posterior de un altoparlante es difícil que suministre potencia por arriba de los 300 Hz, debido a los diversos cambios de dirección de la onda y a la absorción en las superficies e irregularidades de la bocina.

Según *Klipsch*, el método de aprovechar la onda anterior para las frecuencias mayores y la posterior para las menores, no es del todo recomendable, debido a la disparidad en el rendimiento entre las dos radiaciones, que da lugar a un severo efecto de "tonel" y a una notable deformación, característica de la que se acusa, por otra parte, a los reflectores de bajos. Mucho mejor es utilizar la radiación de una sola de las caras, con acoplamiento por bocina, y obtener los medios y agudos con uno o dos canales separados. Claro está que el empleo de las dos radiaciones suministra un mayor rendimiento, cosa muy importante cuando se desea proyectar gabinetes de tamaño reducido. En estos casos, se disminuye bastante el efecto de "tonel" encerrando al parlante en una cámara de compresión, dotada de una reducida abertura, la que además ayuda a un mejor amortiguamiento del cono. La cámara de aire y la abertura se comportan como un .filtro acústico pasa-bajos. Recuérdese que esta solución se utilizó en los gabinetes "Rebel", aunque el volumen grande de la cámara permite que éstos se comporten, en parte, como reflectores de bajos.

Alexis Badmaieff (de Altec Lansing Corp.) explica la necesidad de esta cámara de la siguiente manera: como la distancia entre el frente y la parte posterior del parlante, a lo largo del eje, es muy diferente, la fase se desplazará entre las dos fuentes de sonido, a medida que la longitud de onda varía. La onda posterior debe recorrer la distancia D antes de combinarse con la onda anterior. Como las dos radiaciones están a 180º fuera de fase, la longitud D debe ser igual a un medio de la longitud de la onda para que las dos radiaciones sean aditivas. Si, sin embargo, la longitud de onda es igual a la distancia D, tendrá lugar una cancelación completa debido a que las dos energías se hallan 180º fuera de fase. En cierto punto, usualmente entre los 200 y los 500 Hz se observa un pronunciado valle en la respuesta. Esta caída es propia de este sistema, debido a que no existe divisor de frecuencia entre los dos lados del cono. La única forma de eliminar esta interferencia es suministrando un filtro acústico pasa-bajos, que atenúe las frecuencias más allá de los 150 Hz, de modo que la intensidad del sonido de la parte posterior del parlante, amplificada por la bocina, sea despreciable con respecto a la onda anterior. El filtro acústico

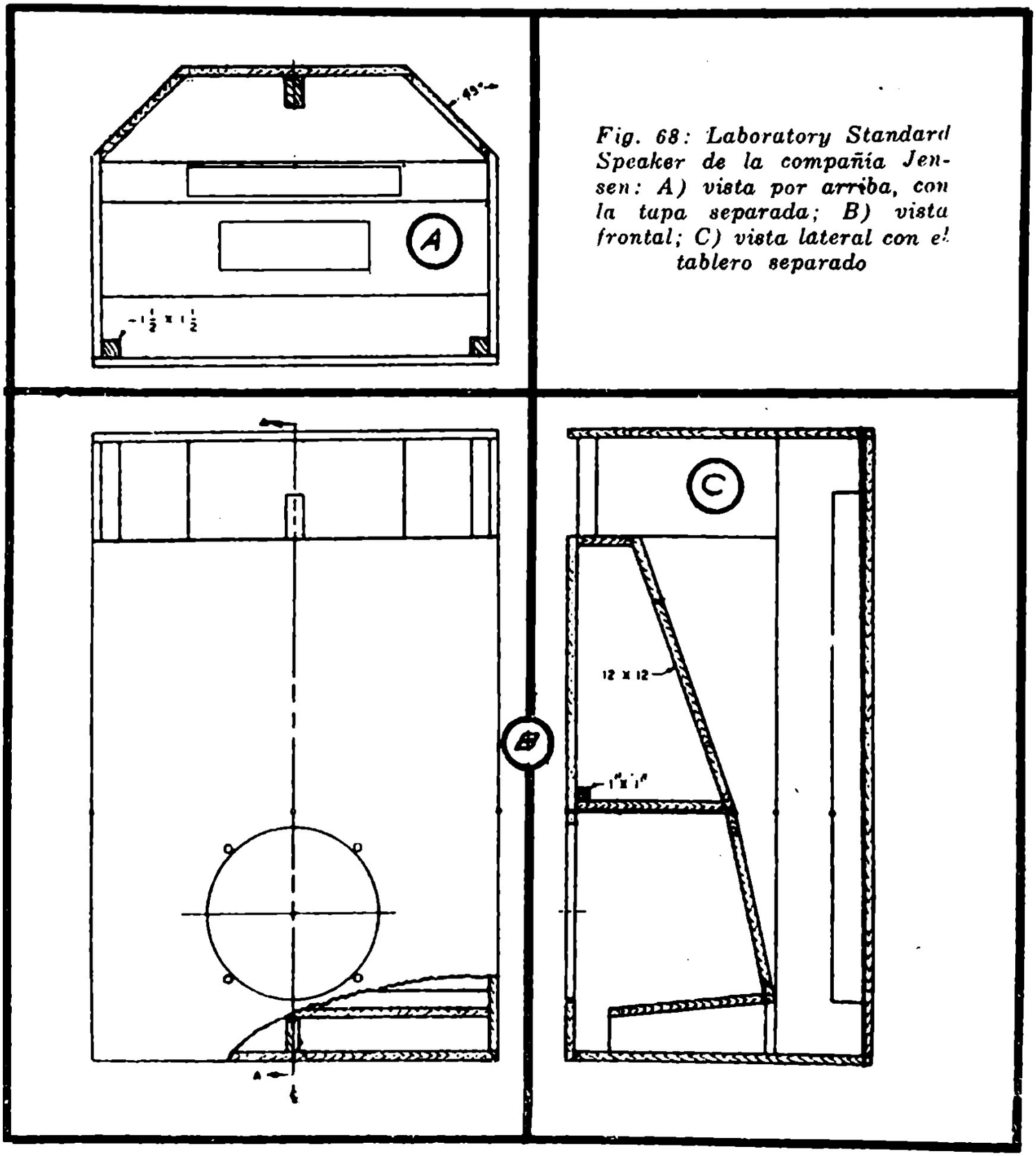


Fig. 68: Laboratory Standard Speaker de la compañía Jensen: A) vista por arriba, con la tapa separada; B) vista frontal; C) vista lateral con el tablero separado

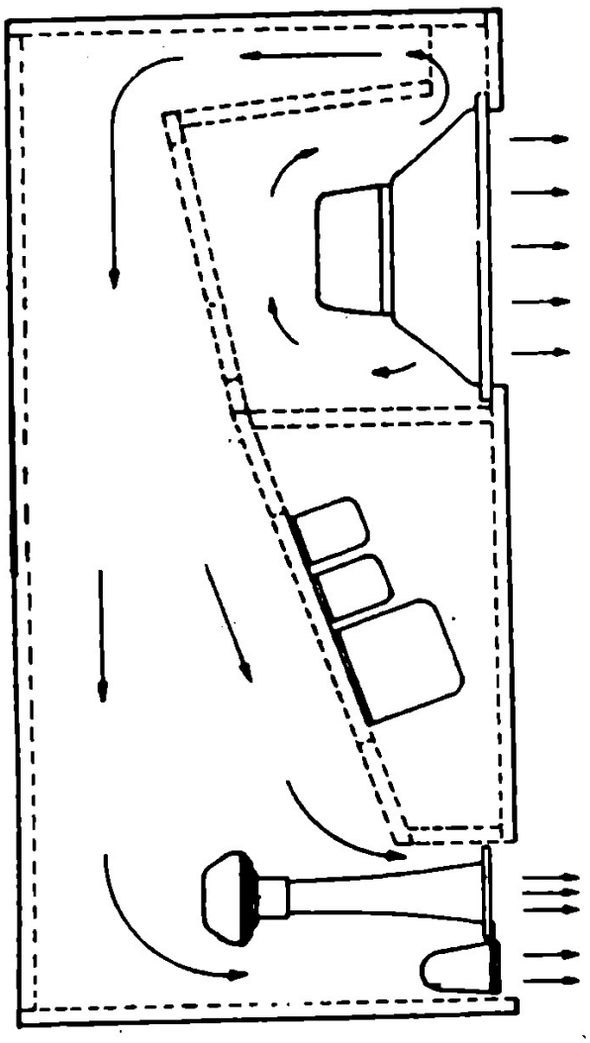


Fig. 69: Otra vista del gabinete presentado en la figura anterior, pero con los altoparlantes y el divisor de frecuencias colocados

puede consistir en una reactancia capacitiva en forma de una cavidad detrás del cono y una fina malla en la entrada de la bocina. Esto suministra un circuito acústico *LC* que forma un filtro pasa-bajos. El autor mencionado se opone a este tipo de gabinete, asegurando que son muy raros los exponentes comerciales que funcionan correctamente.

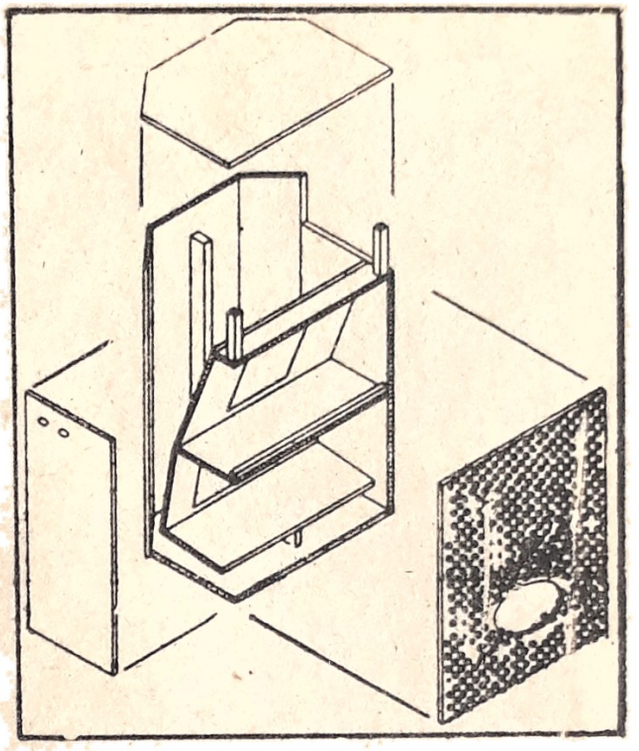


Fig. 70: Vista desarrollada del gabinete de la figura anterior

LAS BOCINAS DE STROMBERG-CARLSON Y UNIVERSITY

La compañía *Stromberg-Carlson* ha construido, por su parte, un gabinete que, como el de la *Jensen*, que acabamos de describir suministra radiación directa anterior y por carga de bocina en la parte posterior. Sin embargo existe una diferencia de funcionamiento que es fundamental: el largo de la columna de aire acoplado a la parte posterior es igual a un cuarto de longitud de la onda de la menor frecuencia a reproducir. Esto hace que este gabinete en parte se comporte realmente como bocina en la parte posterior, y en parte como tubo resonante de extremo abierto, ofreciendo una elevada impedancia a la cara posterior del

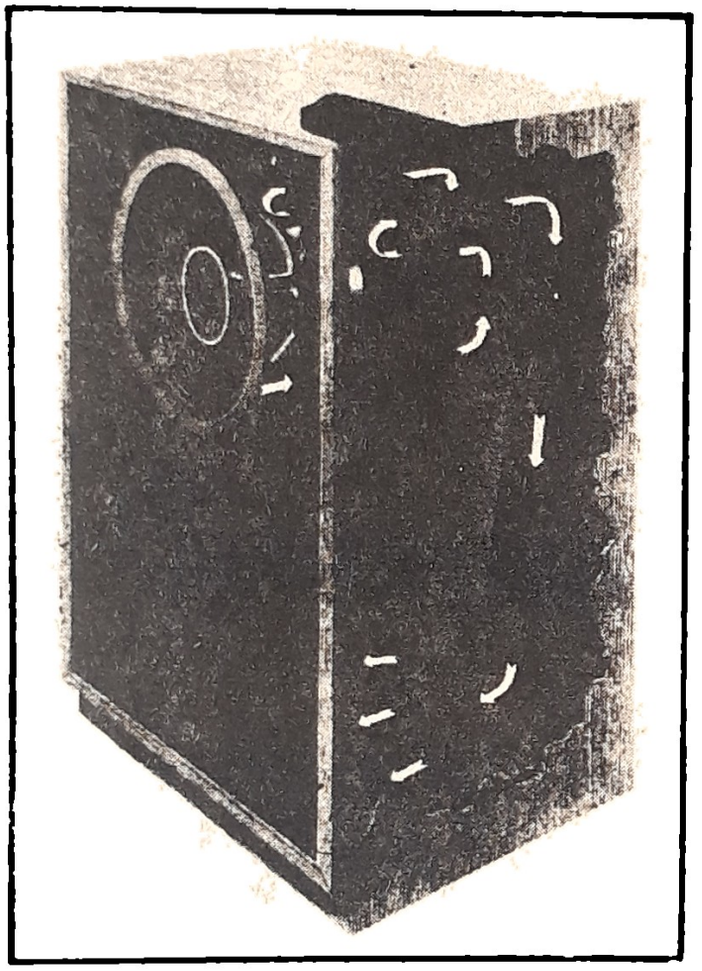


Fig. 71: Bocina-laberinto de Stromberg-Carlston

parlante, y con ello un excelente amortiguamiento del cono a la frecuencia de resonancia, así como un aumento del rendimiento en las frecuencias menores. La expansión exponencial del tubo ayuda a obtener esto último.

En la fig. 72 podemos ver la misma bocina con una interesante modificación en la cámara de acoplamiento, la que se ha dividido en dos compartimentos operando como un filtro pasa-bajos de dos secciones, limitando la gama de funcionamiento de la radiación posterior.

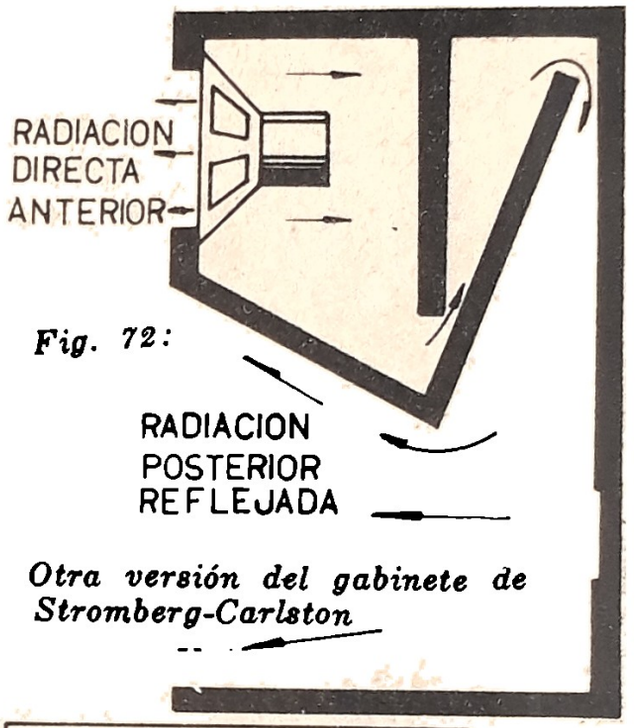


Fig. 72: Otra versión del gabinete de Stromberg-Carlston

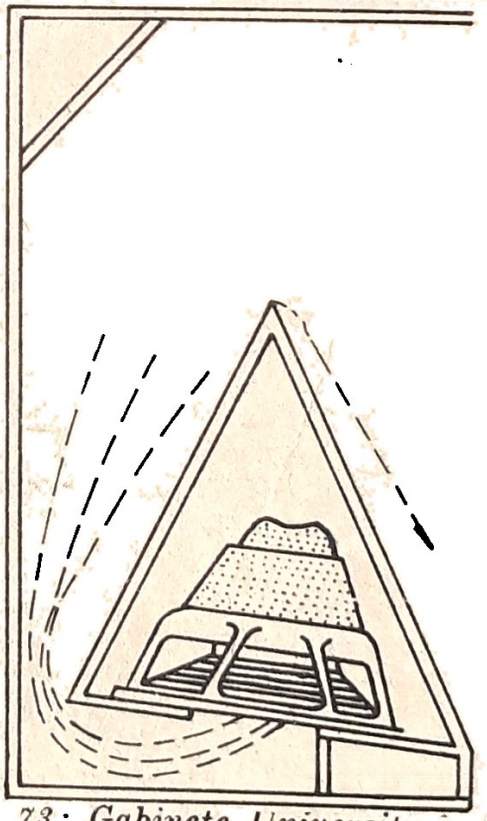


Fig. 73: Gabinete University con carga por bocina en la cara anterior del cono del altoparlante. Las flechas señalan la trayectoria de la onda sonora

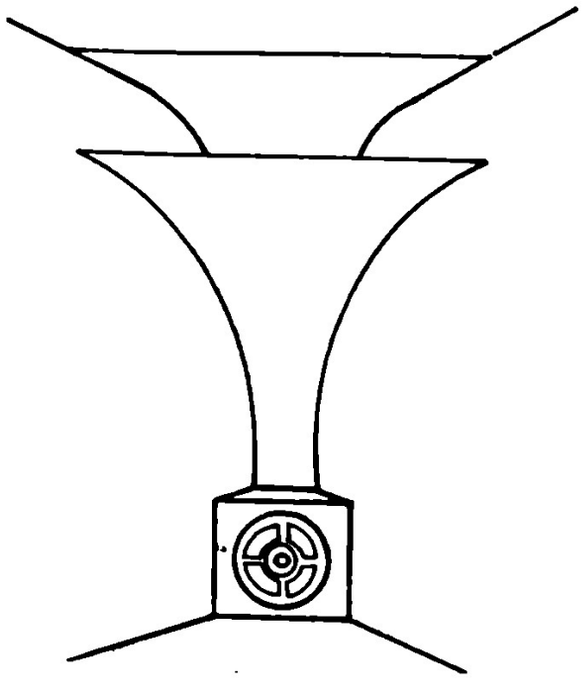


Fig. 74: Aprovechamiento de un rincon de la habitación para convertirla en bocina

En la fig. 73 puede observarse un gabinete-bocina, original de la compañía *University*, parecido al anterior, pero la carga por bocina se efectúa sobre la cara anterior del parlante, en tanto que la cara posterior está encerrada en una caja completamente hermética, suministrando así un excelente amortiguamiento del cono. Este gabinete viene a entrar en la categoría de bocinas del tipo "Voigt", diferenciándose en el tipo de carga de la onda posterior. La progresión es exponencial.

EL PROBLEMA DEL TAMAÑO

A pesar de que la bocina integral constituye el gabinete acústico ideal, no cabe duda alguna de que no resulta eficientemente apta más que para su colocación en la "casa propia", o donde los problemas de espacio no sean muy graves. Cuando se trata de emplear estos "monstruos" en el departamento común, las cosas se tornan ya casi una utopía. De esta situación se derivaron otros caminos, insistiendo siempre en el empleo de la bocina como pantalla acústica. Prácticamente podemos clasificar a estas ideas en tres grandes categorías:

1) Aprovechamiento de las paredes y cielorraso como elementos integrales de la bocina;
2) aprovechamiento de las imágenes virtuales y reales agregadas a la boca de la bocina por las paredes y el piso;
3) plegado de la bocina, para reducir el conjunto a proporciones más prácticas.

APROVECHAMIENTO DE LAS PAREDES

Mucho se ha discutido acerca de quién fue el que tuvo, por primera vez, la feliz e ingeniosa idea de utilizar a las paredes de la habitación como parte integrante de la bocina. Lo cierto es que *E. K. Sandeman* solicitó y obtuvo, en 1929, una patente en este sentido. En algunos textos se atribuye al francés *Ephraim* la idea de utilizar un rincón de la habitación como bocina cónica. Sin embargo, casi todos los gabinetes actuales, que explotan este principio, están basados en el proyecto que *Paul Klipsch* desarrolló en detalle en 1941.

Tomemos un rincón de la habitación y tabiquémoslo por delante, de modo de convertir este lugar en un espacio triangular que se desarrolle arriba en forma de bocina exponencial (fig. 74). La boca de esta bocina se abrirá en la parte superior en forma tangente al cielorraso y las paredes laterales. De este modo hemos conseguido que toda la habitación forme parte del sistema acústico. Como la mayor parte de la energía de la bocina se desarrolla a lo largo de un eje, resulta posible eliminar gran parte del tabique que hemos colocado, aprovechando que las paredes verticales en su intersección forman un ángulo

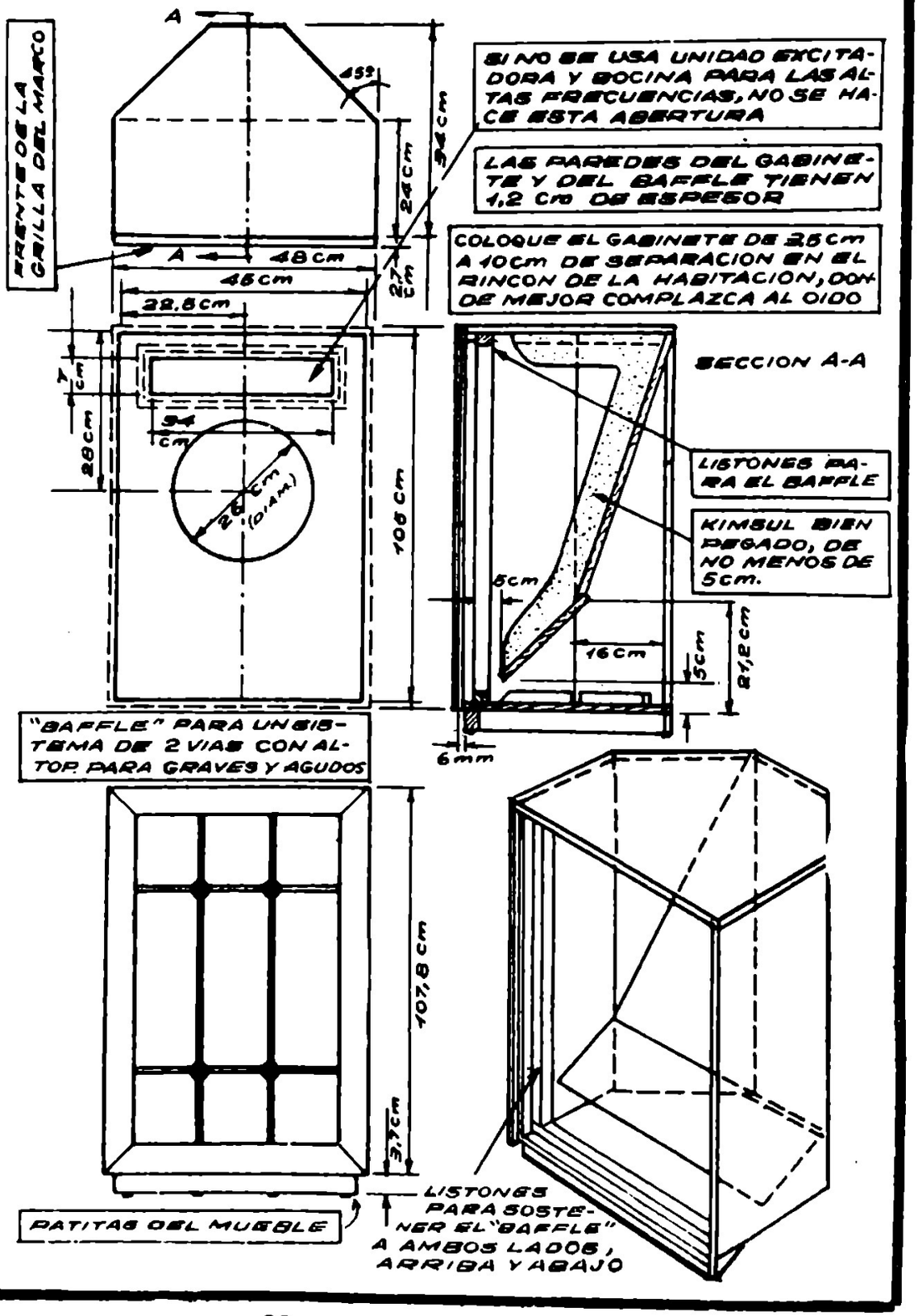

A
45°
FRENTE DE LA GRILLA DEL MARCO
SI NO SE USA UNIDAD EXCITADORA Y BOCINA PARA LAS ALTAS FRECUENCIAS, NO SE HACE ESTA ABERTURA
LAS PAREDES DEL GABINETE Y DEL BAFFLE TIENEN 1,2 Cm DE ESPESOR
COLOQUE EL GABINETE DE 25 Cm A 10 Cm DE SEPARACION EN EL RINCON DE LA HABITACION, DONDE MEJOR COMPLAZCA AL OIDO
94 cm
24 cm
27 cm
A
48 cm
45 cm
22,6 cm
7 cm
28 cm
34 cm
26 cm (DIAM.)
105 cm
SECCION A-A
LISTONES PARA EL BAFFLE
KIMSUL BIEN PEGADO, DE NO MENOS DE 5 cm.
5 cm
16 cm
5 cm
21,2 cm
6 mm
"BAFFLE" PARA UN SISTEMA DE 2 VIAS CON ALTOP. PARA GRAVES Y AGUDOS
107,8 cm
3,7 cm
LISTONES PARA SOSTENER EL "BAFFLE" A AMBOS LADOS, ARRIBA Y ABAJO
PATITAS DEL MUEBLE

Fig. 75: Gabinete "Aristocrat" de la compañía Electro-Voice, que responde al principio de las bocinas rinconeras, utilizando el ángulo sólido de la habitación como prolongación del mueble

sólido que seguirá conduciendo la energía acústica hacia arriba. La aplicación de esta sencilla idea permite, de entrada nomás, reducir enormemente la altura del mueble colocado en el rincón. El gradiente de expansión estará gobernado por las características de la sección de la bocina. En una palabra, en esta forma el mueble constituye las primeras unidades básicas de la bocina, dándole sus características, en tanto que la habitación forma el resto de la longitud. Según *G. L. Augspurger*, el empleo de la directividad vertical del sonido en la bocina básica, combinada con la dirección horizontal impartida por la unión de las paredes laterales con el cielorraso, suministra a esta unidad una característica muy próxima a la de una bocina infinita. Es justamente *Klipsch* el que ha expuesto en detalle la teoría de cómo una longitud básica de bocina puede gobernar la expansión del frente de onda cuando la restricción exponencial no se halla más presente en su totalidad. Las experiencias realizadas demuestran que con una bocina de un metro de longitud, aproximadamente, será suficiente para gobernar adecuadamente la expansión del frente de onda.

Howard Souther, de la compañía *Electro Voice*, ha creado el gabinete que ha denominado, comercialmente, "Aristocrat" (fig. 75) de dimensiones sumamente reducidàs, ya que tal gabinete constituye en realidad solamente la cámara de acoplamiento y embocadura de una bocina cuya parte restante está constituida por las paredes y techo de la habitación, para lo cual la parte posterior del gabinete debe permanecer abierta.

El gabinete "Baronet" es igual al des-

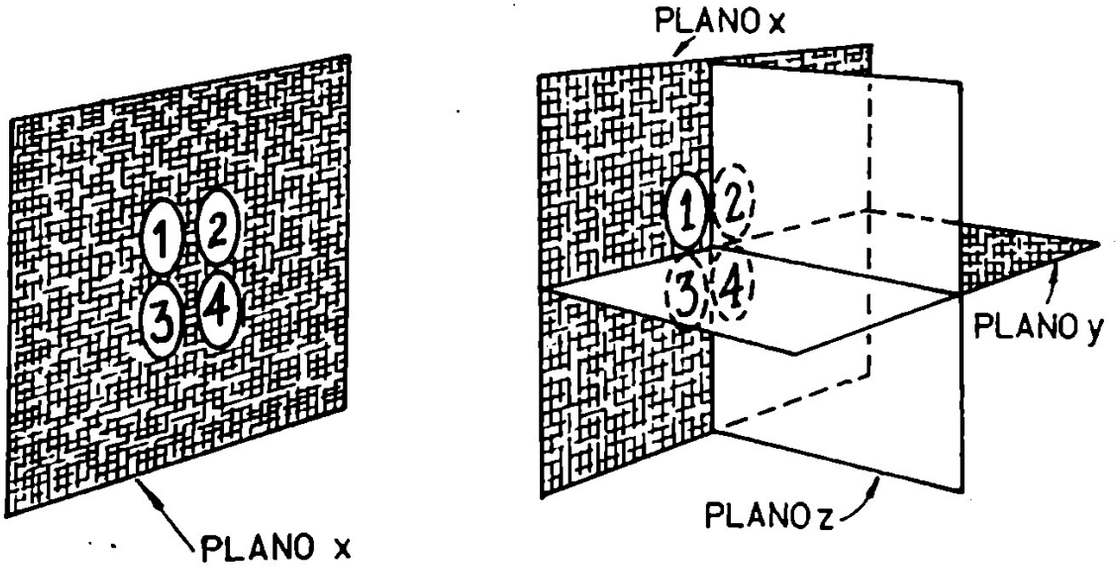


Fig. 76: A la izquierda: cuatro pistones radiantes agrupados sobre un mismo tablero. A la derecha: imágenes primarias constituidas por la colocación de los planos X, Y, Z.

B
C
2
3
=
=
2
2
3
3
=
1
A
3
3
3
3

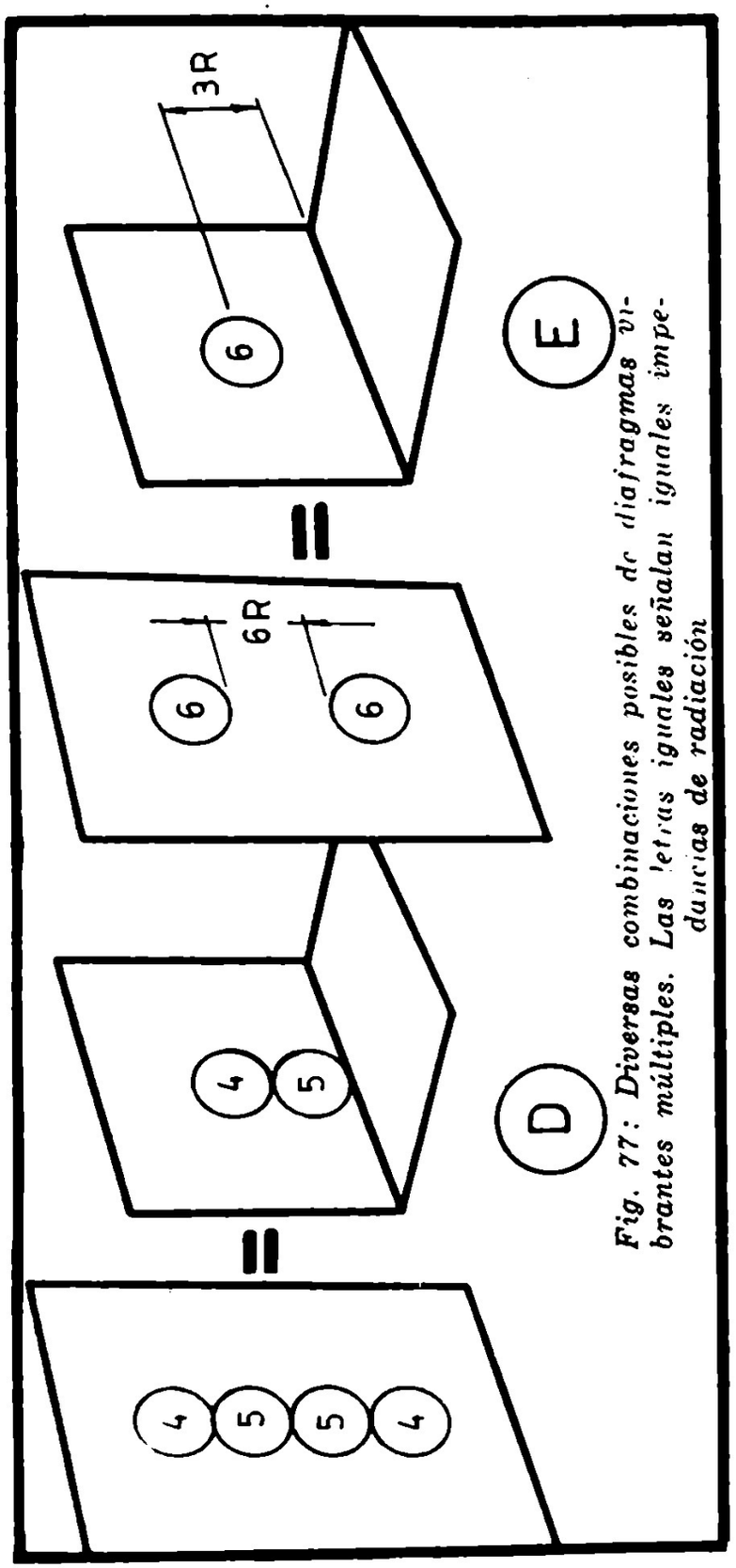


Fig. 77: Diversas combinaciones posibles de diafragmas vibrantes múltiples. Las letras iguales señalan iguales impedancias de radiación

cripto, salvo en el frente, que es inclinado.

Recuérdese que el "Klipsch-Rebel IV", de la compañía *G. & H. Wood Products* (Cabinart), es también un reflector de bajos con bocina acoplada a la parte posterior, representando el mueble la unidad inicial de la bocina propiamente dicha, constituída por las paredes de un rincón de la habitación.

IMAGENES REALES Y VIRTUALES

Si tenemos cuatro pistones vibrantes sobre una pantalla infinita *X* (fig. 75), puede demostrarse que resulta posible anular los pistones 3 y 4 colocando la pantalla *Y*, sin que se altere la impedancia de radiación de los pistones 1 y 2, puesto que el sonido que corresponde a los pistones 3 y 4, en el caso de que no estuviere la pantalla, queda reemplazado por el sonido reflejado sobre la misma cuando tal pantalla se coloca. Esto es lo que se conoce con el nombre de "imágenes primarias" de los pistones 1 y 2. Extendiendo estos conceptos al caso del agregado del plano *X*, es evidente que pueden eliminarse los pistones 2, 3, 4, sin que por ello se altere la impedancia de radiación vista por el parlante 1. En la fig 76 se exponen diversas combinaciones posibles de pistones múltiples. Las combinaciones que se hallan en una misma hilera presentan la misma impedancia de radiación.

La formación de estas imágenes primarias o reales y las secundarias o virtuales puede ser aprovechada con el fin de reducir el tamaño de la boca de la bocina, y con ello la longitud de la misma. En una palabra, se utilizará una bocina dotada con una boca de dimensiones apropiadas para un ambiente familiar, provechando que las imágenes reales y virtuales actúan produciendo el efecto de un aumento de la superficie de la boca. *E. G. Gatelly* (h.) y *T. A. Benham* recurren al siguiente método para demostrar la existencia de las imá-

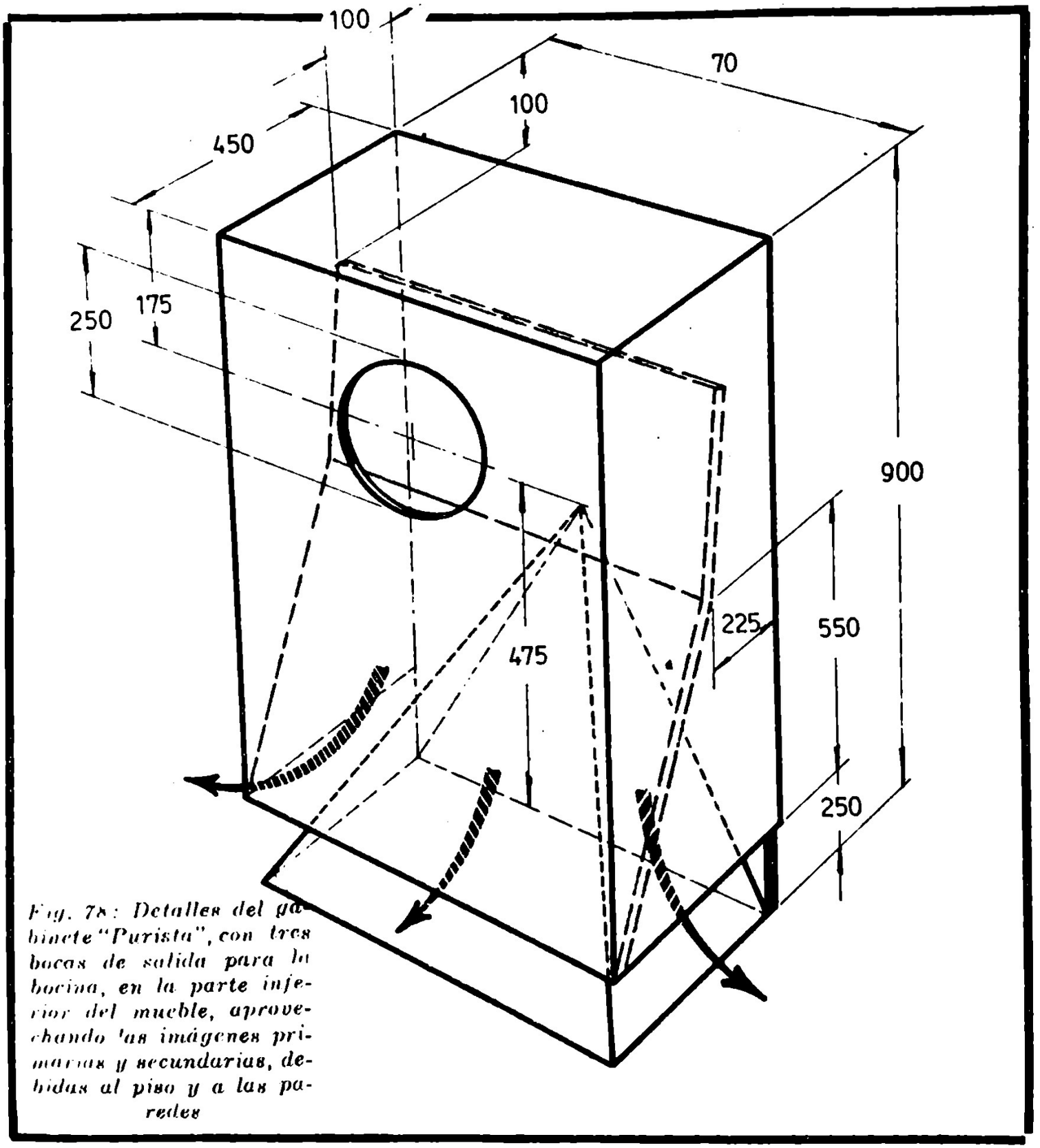


Fig. 78: Detalles del gabinete "Purista", con tres bocas de salida para la bocina, en la parte inferior del mueble, aprovechando las imágenes primarias y secundarias, debidas al piso y a las paredes

genes: colóquense espejos del tipo para carteras, uno junto a otro, formando un ángulo recto triedro, en la misma forma que presentan las dos paredes de un ángudo de una habitación y el piso de la misma. Si se inserta en ese ángulo triedro recto, formado por los tres epejos, un pedacito de papel, en la misma posición que ocuparía la boca de salida de una bocina en un gabinete, quedará ilustrada con toda exactitud la manera en que se produce las imágenes acústicas.

Un ejemplo típico de cómo se aprovechan estas imágenes para la construcción de gabinetes-bocina de tamaño práctico, es el "Purista" de la compañía *Jensen*. Obsérvese en la fig. 78 cómo este gabinete constituye, en realidad, una bocina plegada de 90°, que se logra con la pirámide dispuesta en la base. La inclinación de las caras de la pirámide es tal que cualquier reflexión acústica deberá pasar hacia afuera de la bocina evitando la posibilidad de que se produzcan ondas parásitas. Este gabinete entra en la categoría de los muebles rectangulares con boca en los tres lados, lo que permite una gran ampliación de esta última, la que es llevada, luego, al tamaño teórico necesario para la reproducción de una frecuencia de corte muy baja, sin reflexiones ni ondas estacionarias, por medio del efecto de las imágenes, que pueden verse en la fig. 79.

Como los parlantes de distintas marcas poseen, aun a igualdad de diámetro del cono, distintas características, será necesario alterar el volumen de la cámara de aire detrás del parlante, para adecuarlo a cada caso especial. Esto se verificará en una prueba auditiva y colocando material absorbente en el interior, el que además permitirá absorber las ondas parásitas producto de las reflexiones.

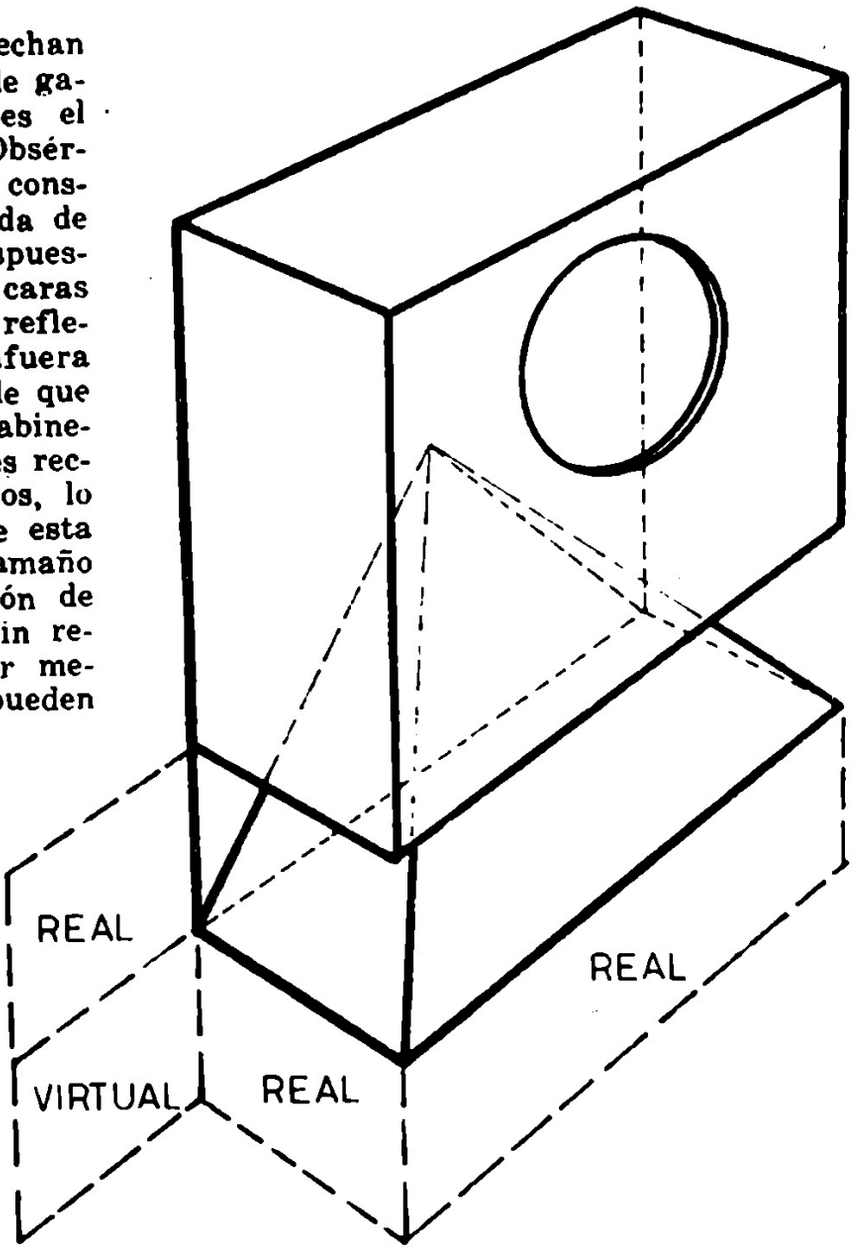


Fig. 79: Cómo se producen las imágenes junto a la boca de la bocina, en el gabinete de la figura anterior

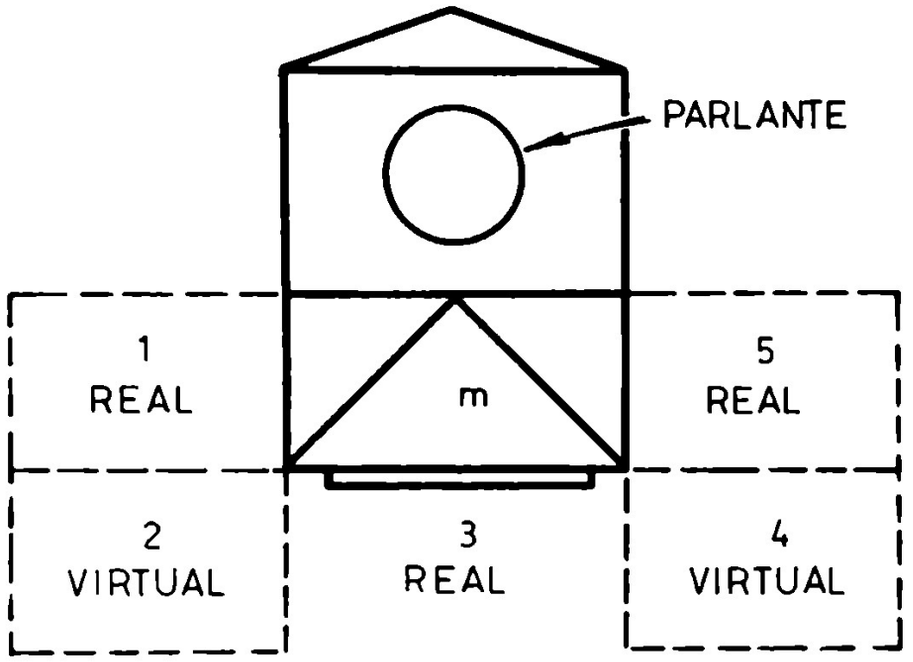
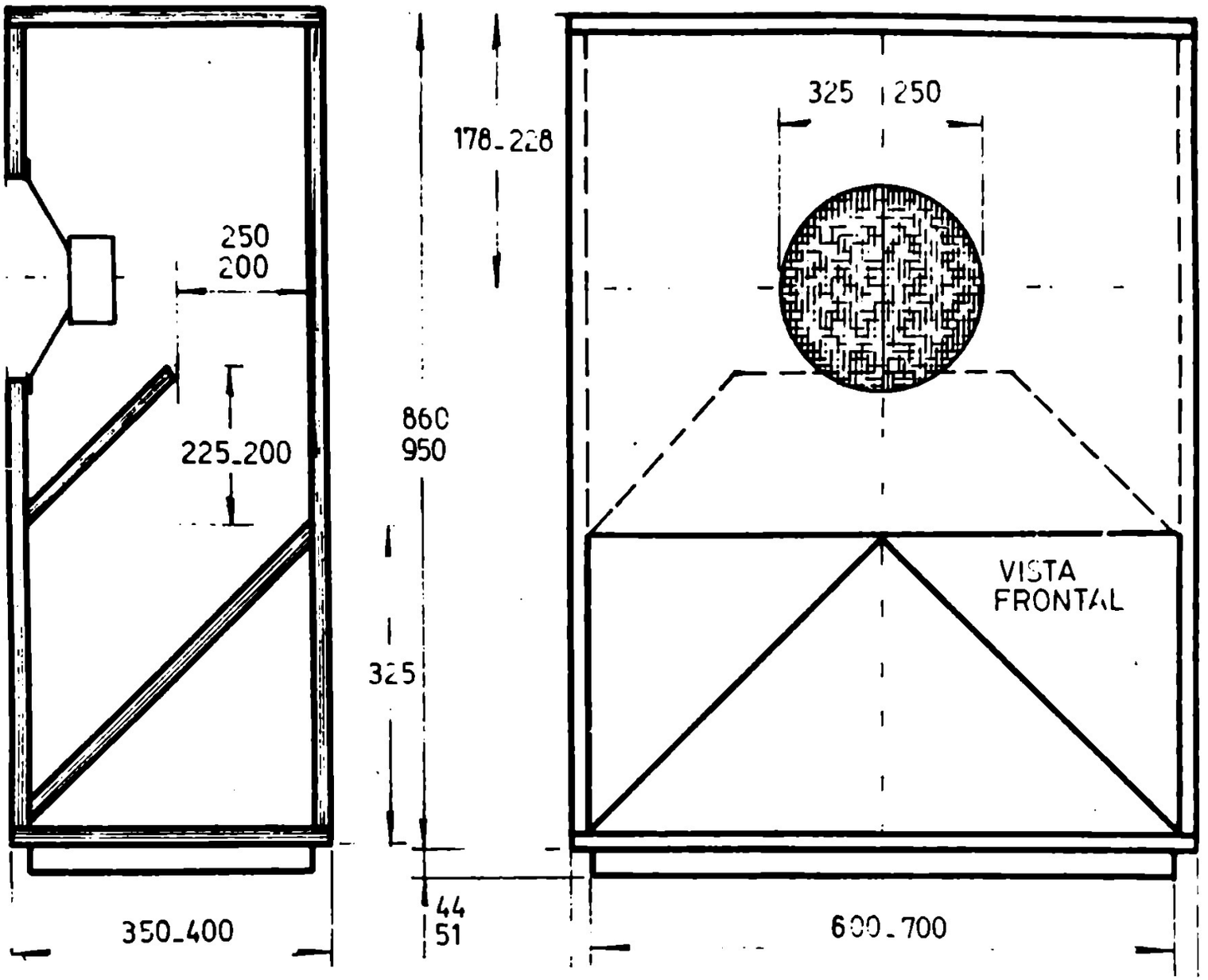


Fig. 80: Pueden emplearse disposiciones prismáticas, triangulares, con dos bocas en lugar de la cúbica o paralepípeda

En lugar de adoptar la forma rectangular, este gabinete puede ser construido en forma triangular como se expone en la fig. 80, aun cuando la misma es algo extraña y difícilmente aplicable a un ambiente familiar. Más bien puede recurrirse a la forma como se expone en la fig. 81, que sirve para la colocación en un rincón de la habitación. Esta es la idea que ha llevado a la construcción de la "Superbocina" (Super-Horn) de los mismos autores del "Purista". En este gabinete la boca queda reducida a una sola, frontal, pudiendo verse las imágenes que, en esas condiciones, forman las paredes laterales y el piso. En lugar de un prisma en la base del gabinete sólo se tiene, ahora, un tablero triangular inclinado a 45°, que produce la salida al exterior de las ondas reflejadas. Las dimensiones que se exponen en la fig. 81 son para dos tipos de parlantes (25,4 y 32,5 cm de diámetro). Obsérvese que se han cumplido las siguientes condiciones (fig. 83):

a) el ancho total es igual al doble de la altura de la boca de la bocina;
b) la longitud de los tableros laterales es igual a ¼ de la altura de la boca;
c) la distancia desde el borde libre del tablero colocado detrás del parlante, hasta la parte posterior del gabinete, es igual a la mitad de la altura de la boca de la bocina;
d) la superficie de la boca de la bocina (C) debe ser igual al doble de la superficie tomada en (B), y ésta a su vez igual al doble de la superficie medida en (A):
e) la distancia x desde el punto medio de (A) hasta el punto medio de (B) debe ser igual a la distancia entre el punto medio de (B) hasta el punto medio de (C);

Evidentemente, estas medidas es-



CONSTRUCCION EN TERCIADO DE
18 mm DE ESPESOR

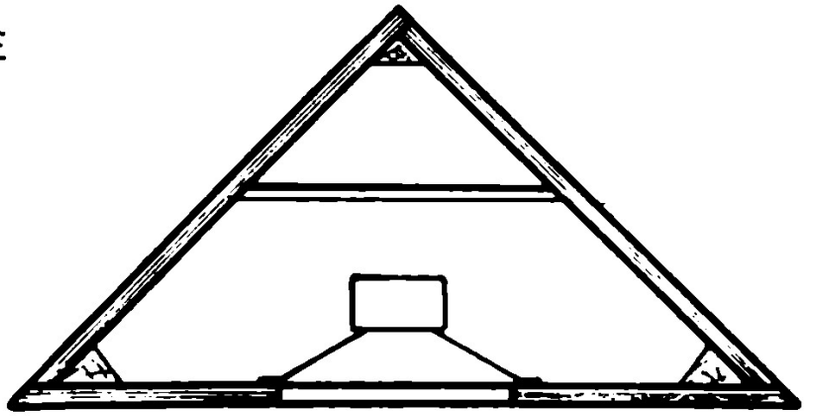


Fig. 81: Bocina de forma triangular, base de la versión comercial "Super-horn"

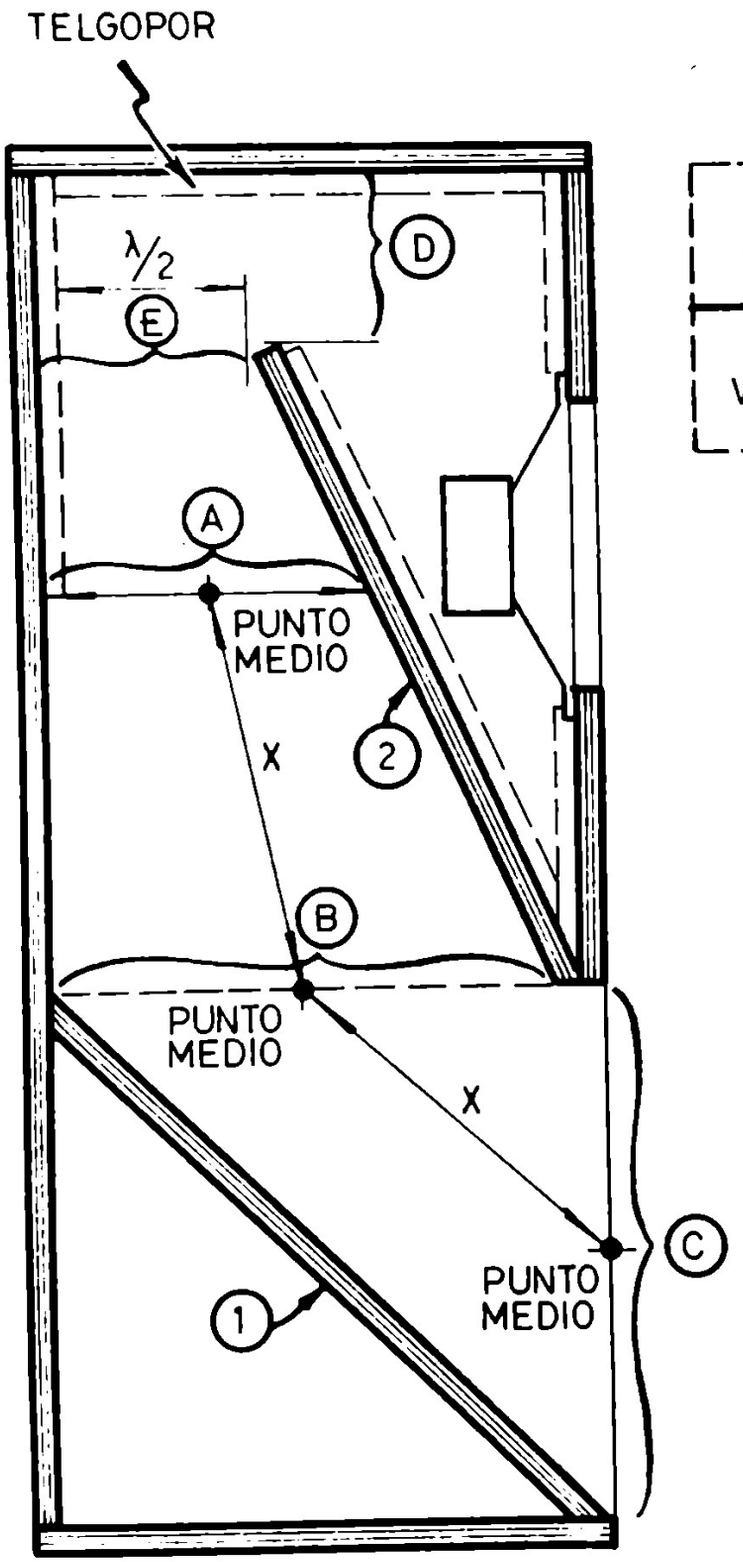


Fig. 83: Relación de dimensiones en la Super-bocina

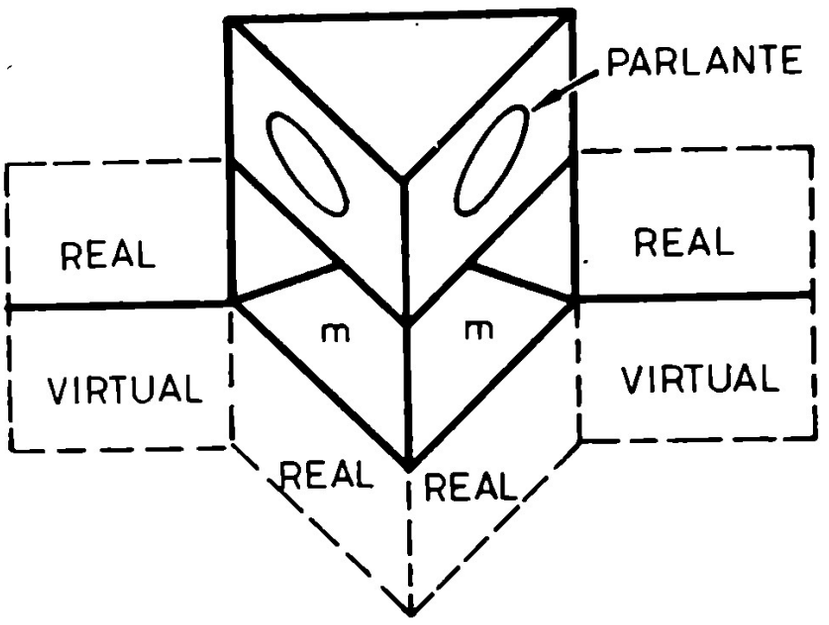


Fig. 82: Formación de las imágenes de la boca de la bocina en el caso del gabinete triangular

tán basadas en la teoría y fórmulas de expansión y dimensiones de la bocina exponencial que hemos estudiado en un capítulo anterior. Si se tiene en cuenta esto, podrían proyectarse gabinetes-bocinas para diversas frecuencias de corte;

f) la distancia (D) debe ser tal que a esa altura la superficie encerrada sea igual a la superficie abarcada a la altura (E). No olvidarse que a la altura de (D) la superficie abarcada es rectangular, en tanto que en (E) es triangular.

Todas estas medidas son interiores y de las mismas debe descontarse el espesor del recubrimiento amortiguador.

EL GABINETE "REGENCY"

El conocido gabinete "Regency", de la compañía *Electro Voice*, aprovecha los dos principios estudiados hasta ahora, o sea las paredes y piso como partes constituyentes

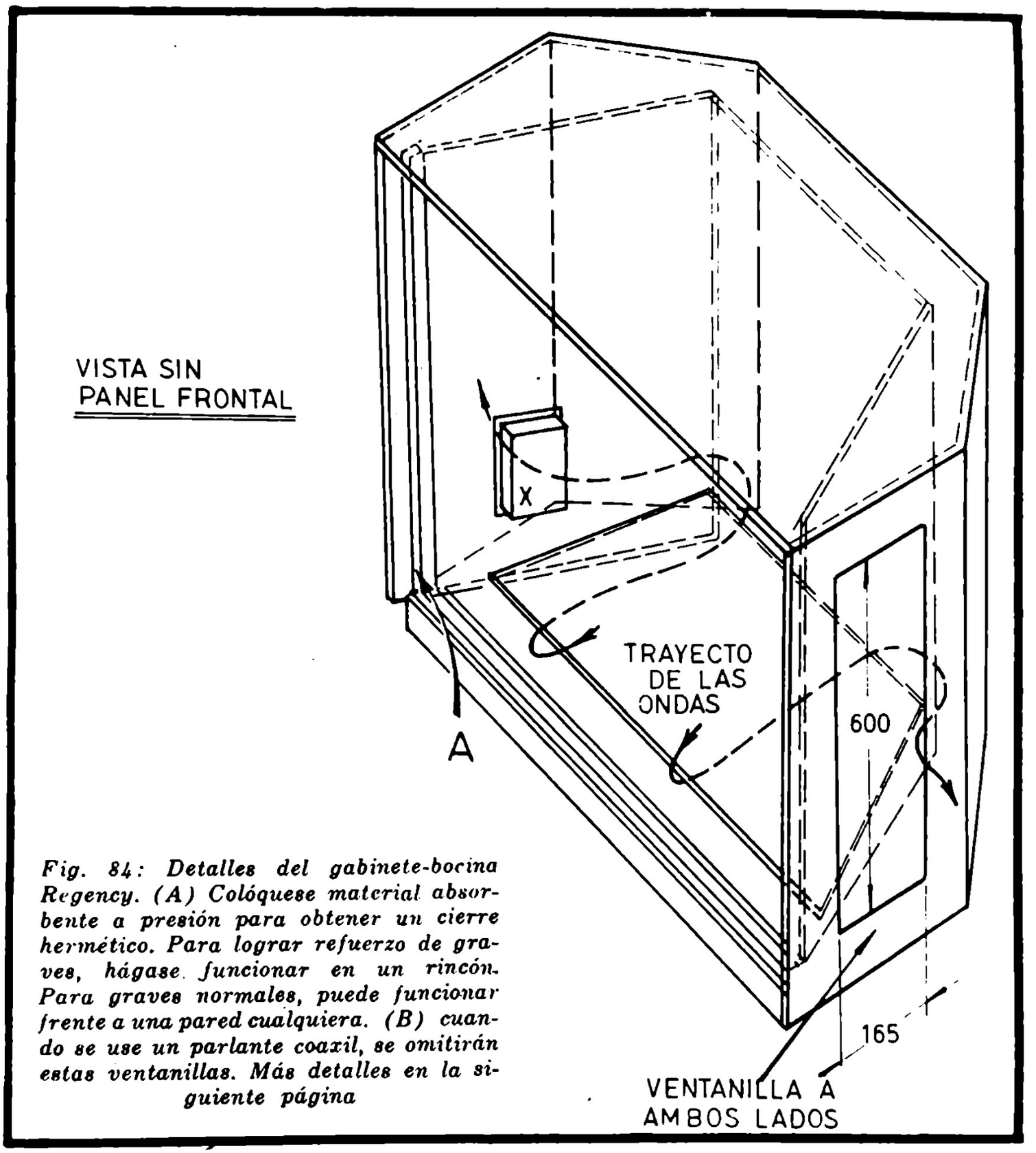
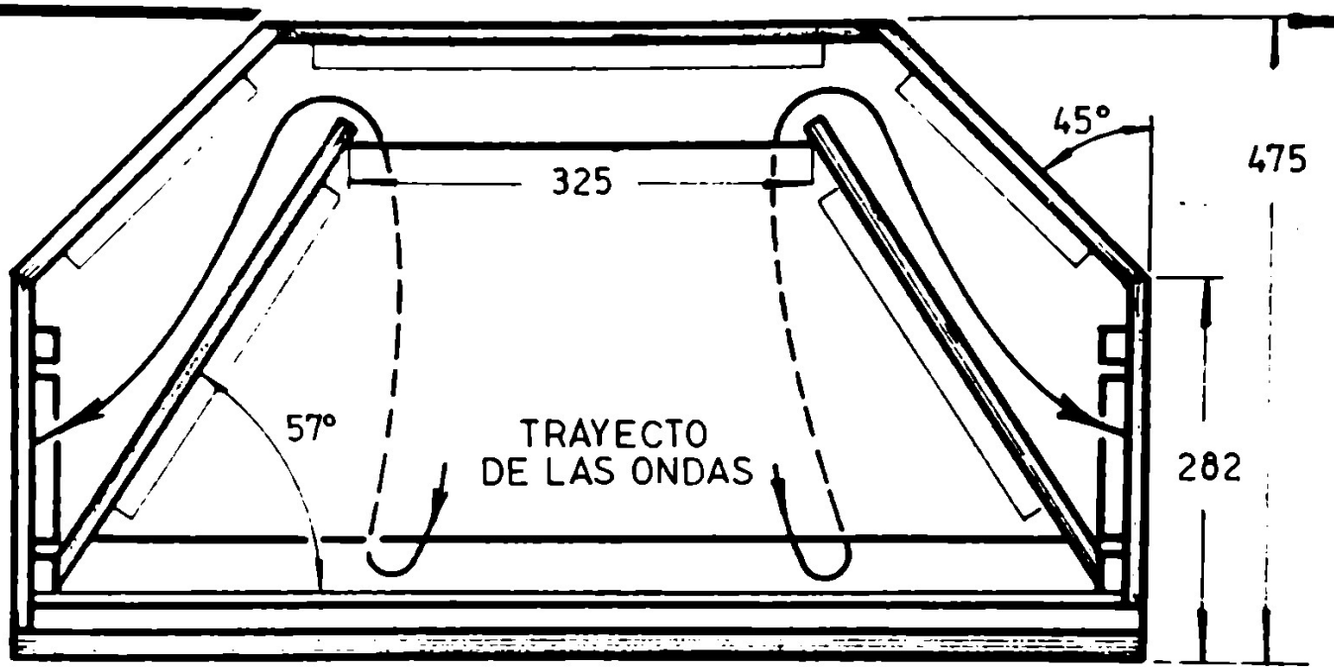


Fig. 84: Detalles del gabinete-bocina Regency. (A) Colóquese material absorbente a presión para obtener un cierre hermético. Para lograr refuerzo de graves, hágase funcionar en un rincón. Para graves normales, puede funcionar frente a una pared cualquiera. (B) cuando se use un parlante coaxil, se omitirán estas ventanillas. Más detalles en la siguiente página



VISTA SUPERIOR SIN LA TAPA

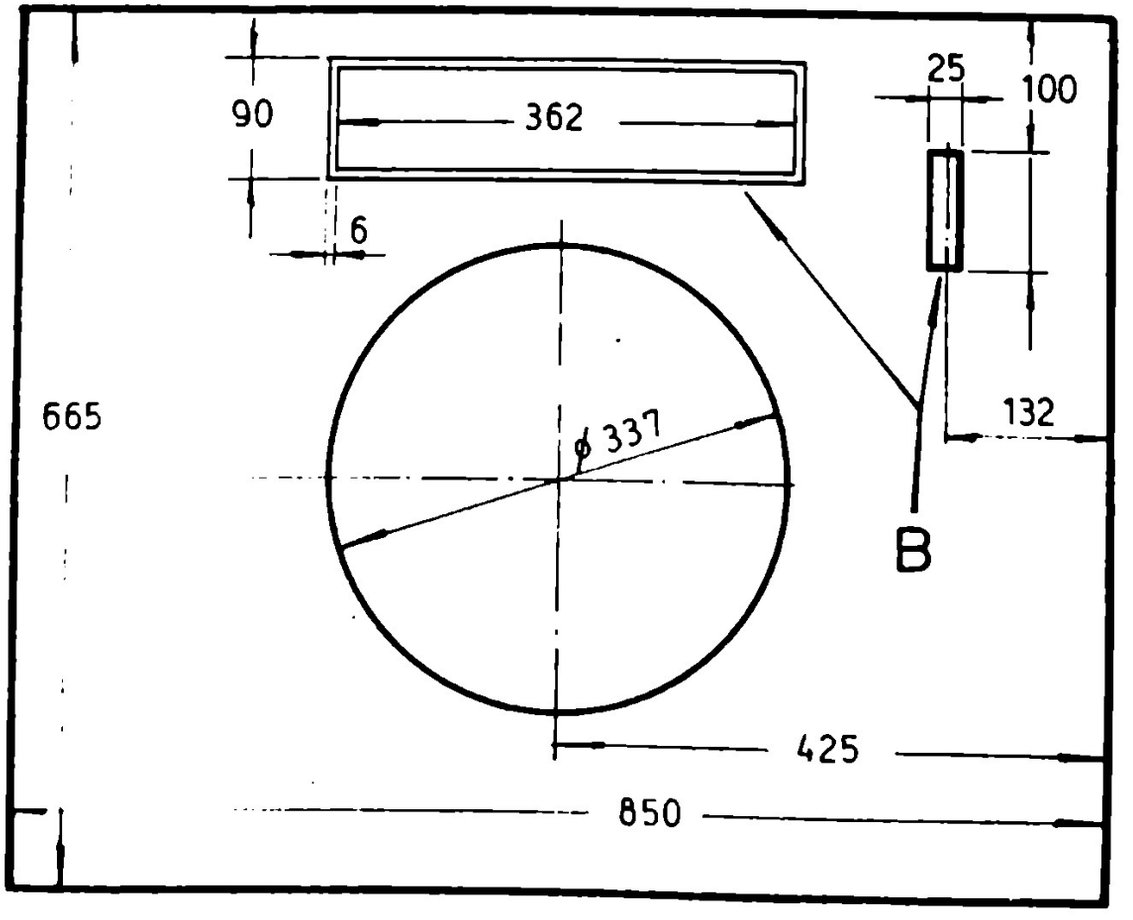


TABLA DE MONTAJE DE LOS ALTOPARLANTES ESP. 20 mm

de la bocina y las imágenes reales y virtuales para aumentar las dimensiones de la boca. Este gabinete se asemeja mucho por un lado al "Aristocrat", por la tabla diagonal colocada en la parte inferior del gabinete, constituyendo la garganta de la bocina, en conjunto con el piso. En cambio el rincón de la habitación no actúa como cuerpo de la bocina, ya que la parte posterior del gabinete está cerrada. La onda posterior es canalizada hacia los costados, de manera que este gabinete posee dos bocas laterales a las que se agregan las imágenes formadas por el piso y las paredes, que actúan, al mismo tiempo, como cuerpo de la bocina. Esta interesante combinación ha permitido reducir el tamaño total del gabinete, que posee una altura no mayor de los 70 cm, de manera que el conjunto puede ir perfectamente debajo de una ventana. Por otra parte, existe la ventaja de que es posible aplicar el gabinete tanto sobre una pared de la habitación como en un rincón de la misma. Con este gabinete las frecuencias superiores a los 225 Hz son radiadas en forma directa por la parte anterior del cono; en cambio, para las frecuencias menores, se aprovecha la onda posterior y su carga por bocina exponencial. A los 800 Hz se dispone la frecuencia de transición entre el canal de medios y el de agudos. Todos los datos constructivos de este gabinete los podrá hallar el lector en la fig. 84.

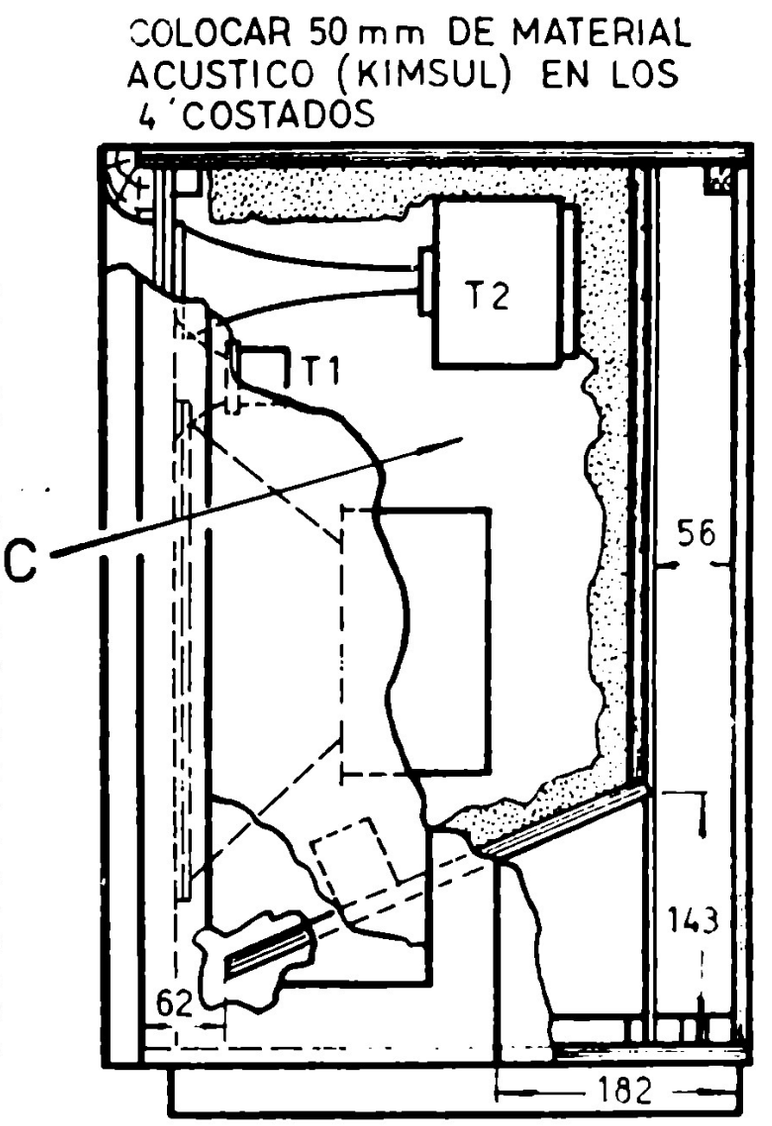


Fig. 85: Más detalles del gabinete-bocina Regency: (c) toda esta cámara debe ser hermética, a prueba de aire, salvo la ranura practicada en la parte de abajo, que permite que el aire pase a la parte de atrás. Todas las tablas de 12 mm de espesor, salvo indicación en contra

LA BOCINA PLEGADA

Al tabular las tres posibilidades que se han explotado en el sentido de reducir las dimensiones de las bocinas para poder aplicar las mismas en el hogar, hemos mencionado a las bocinas "plegadas". En realidad, salvo dos o tres bocinas rectas y verticales, la mayor parte de las que hemos presentado en párrafos anteriores pueden considerarse como bocinas plegadas, o por lo menos "curvadas". Sin embargo, hemos

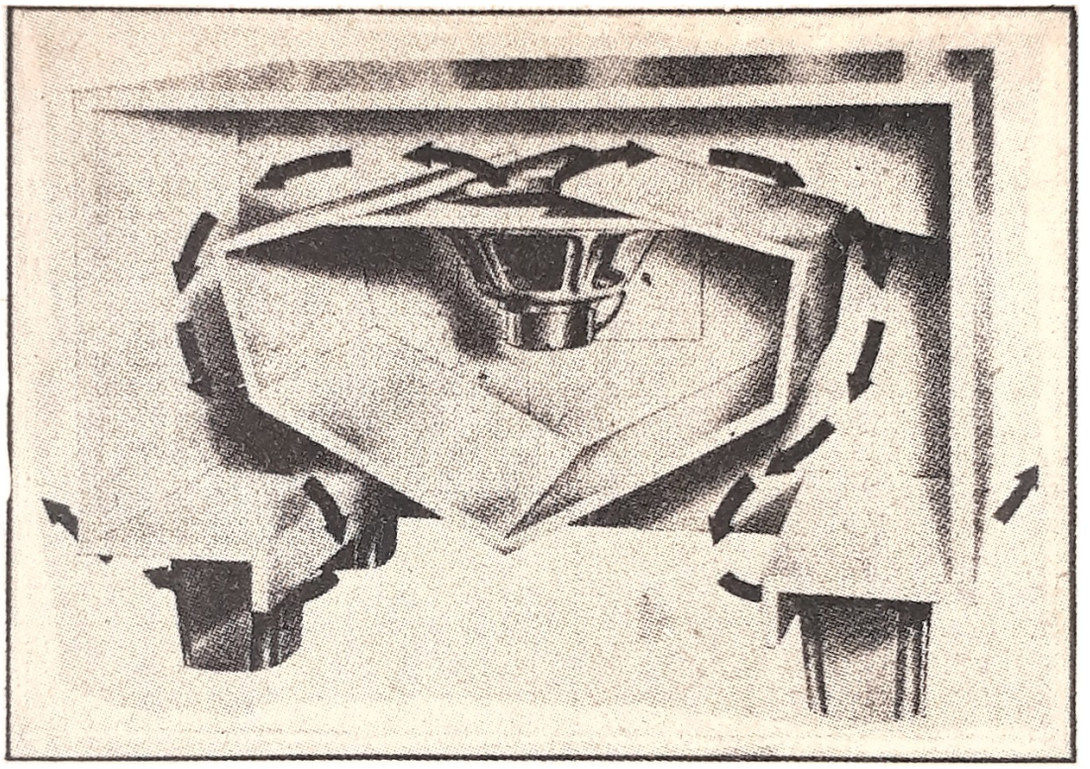


Fig. 86: Bocina plegada con altoparlante encerrado. El recorrido de la onda sonora es simétrico. Las bocas de la bocina miran hacia el piso

constituido un grupo aparte, donde se han incluido a las bocinas en las que el plegado se ha llevado a sus máximas posibilidades, constituyendo la característica principal del gabinete en cuestión.

Acerca de las normas que rigen este tipo de gabinete, lo principal es evitar efectos de neutralización, para lo que deberá existir la misma fase en cualquier plano normal al eje, cosa que se obtiene cuando las dimensiones radiales en cada doblez constituyen una fracción de longitud de onda. No nos olvidemos que en los dobleces se producen reflexiones de la onda sonora y cuando las dimensiones radiales coinciden con un cuarto de longitud de alguna onda, entonces la reflexión se producirá en oposición de fase, con la consiguiente neutralización entre la onda directa y la reflejada. Haciendo las dimensiones radiales muy pequeñas, los inconvenientes se producirán solamente a frecuencias muy elevadas.

Con respecto a la reproducción de las frecuencias menores del espectro, ya sabemos que las mejores condiciones se obtienen con una boca muy grande, de por lo menos 1/3 de la menor longitud de onda a producir. Si queremos un funcionamiento en una banda muy amplia habrá que incorporar las dos condiciones mencionadas, cosa imposible puesto que son contradictorias entre sí. El resultado es que, en la práctica, se produce una atenuación de la respuesta a frecuencias por arriba de los 300 Hz, a consecuencia de las cancelaciones que tienen lugar por la diferencia existente en las longitudes de cada uno de los pliegues. El remedio a esta situación consiste en el empleo de un altoparlante independiente para medios y agudos (o uno coaxil en su defecto). Si se utiliza un altoparlante único, deberá aprovecharse la onda anterior directamente, para obtener una correcta respuesta en medios y agudos, cargando por bocina la parte posterior del cono, con el fin de obtener un excelente amortiguamiento a la frecuencia de resonancia del cono y mejorar la respuesta en graves.

Un excelente ejemplo de bocina plegada es el que se expone en la fig. 87. Se trata de una vista interior, a cuyos efectos se ha separado, previamente, la pared anterior del gabinete. Obsérvese que la cara posterior del parlante queda completamente encerrada, suministrando así un excelente amortiguamiento por la masa de aire incluido. En cambio, la cara anterior está cargada por bocina, la que se abre a ambos lados, en un recorrido de tres partes de progresión cónica, de relación 1:2 entre las secciones de entrada y salida. En la literatura comercial se acostumbra denominar a tal tipo de secciones cónicas sucesivas y progresivas, como bocina exponencial plegada, aunque, desde luego, ello difiere de la verdadera bocina exponencial.

Obsérvese la disposición especial de los tableros que inician la bocina, formando una verdadera cámara de compresión, frente al cono, que permite el acoplamiento del diafragma a la bocina propiamente dicha. El recorrido de la onda es simétrico, permitiendo cancelar posibles resonancias y las bocas se abren en la parte inferior del mueble, que, al efecto, posee patas que lo separan del piso.

En realidad la primera sección es común, abriéndose luego en dos bocinas laterales y otras dos verticales. En esta forma, toda la periferia del frente constituye la boca de la bocina, la que se halla devidida en seis bocas menores, con el fin de reducir los efectos de deformación de fase y tiempo de tránsito, que caracterizan a las bocinas de boca única muy grande.

Los proyectistas de este gabinete afirman que no se trata solamente de una verdadera bocina, sino que puede considerarse asimismo como una gran superficie vibrante, una columna de aire resonando a unos 80 Hz y un conjunto de fuentes de sonido separadas y acopladas mutuamente. Esto hace que la superficie real de la boca, que es de 0,145 m^2, ascienda a unos 0,258 m^2.

4

COLUMNAS SONORAS

Uno de los problemas más graves, en toda instalación de equipos sonoros que deben operar con micrófonos, es la realimentación acústica. La interación entre el micrófono y el parlante es producida por la captación, por parte del primero, del sonido emitido por el segundo, constituyéndose así un verdodero proceso de realimentación, que se traducirá en un aullido y funcionamiento irregular e inestable. Esto obligará a reducir el volumen suministrado por el parlante o a variar la posición relativa de éste, con respecto al micrófono.

De la exposición del problema se deduce, inmediatamente, su más obvia solución: evitar que el sonido que proviene del altoparlante pueda llegar hasta el micrófono. Sin embargo, con ser tan sencilla esta enunciación, su aplicación no siempre es posible, por razones derivadas del ambiente donde se encuentran ubicados los elementos o dispositivos que entran en juego.

Uno de los métodos más comunes, para evitar la realimentación acústica, consiste en distribuir, estratégicamente, un número de altoparlantes en la superficie a cubrir. El empleo de bocinas tiene la conocida ventaja de su notable efecto direccional. Sin embargo, se ha establecido que este tipo de instalación, si bien mejora las condiciones de trabajo, tiene la desventaja de que el sonido reflejado por el cielorraso o las paredes laterales produce un efecto de "fatiga" y distracción en el oyente, que sigue atentamente el discurso del orador o la voz del cantante o la música del ejecutante, dado que los ojos enfocan hacia un punto del salón, en tanto que los oídos deben prestar atención hacia otros puntos totalmente distintos. Además, en aquellas instalaciones donde el micrófono debe captar un programa que se lleva a cabo a distancias mayores de 1,5 m., la instalación mencionada es totalmente ineficaz para eliminar la realimentación acústica. Se mejora algo la situación con una bocina multicelular colocada en la parte superior del proscenio, delante del micrófono, puesto que se mantiene el realismo imagen-sonido, ya que ambos se hallan en un mismo sitio, pero persiste el problema de la distancia máxima admisible entre el micrófono y la fuente de sonido.

Es evidente que el empleo de micrófonos direccionales también contribuirá a reducir la interacción micrófono-altoparlante, pero no cuando la distancia del micrófono a la fuente de sonido es grande.

Ultimamente se ha encontrado una solución satisfactoria a este serio problema, utilizando al efecto las columnas de parlantes múltiples, conocidas también como "*radiadores lineales*".

EL RADIADOR LINEAL

El sistema en cuestión ha sido utilizado ampliamente en Europa, desde hace varios años pero hace muy poco que su uso se ha extendido a nuestro continente. Consiste, esencialmente, en un número de parlantes de cono y bobina móvil dispuestos verticalmente en un gabinete angosto alargado. (fig. 87).

¿Cómo se comporta un conjunto así dispuesto? A continuación trataremos de explicarlo, comenzando por recordar que las dimensiones relativas del diafragma de un altoparlante pueden ser pequeñas si se las compara con la longitud de onda de una señal de baja frecuencia; por el contrario, las dimensiones del mismo parlante serán más y más grandes, cuando se las compara con las longitudes de onda de señales de frecuencias cada vez más elevadas.

Pues bien, las mediciones demuestran que cuanto más grande es la fuente de sonido, comparada con la longitud de onda de la señal radiada, mayor es el efecto direccional obtenido. Así, un altoparlante de 30 cm de diámetro (12") colocado en un gabinete cerrado, radiará en todas las direcciones cuando entrega una señal de 100 Hz, pero a medida que esa señal va aumentando de frecuencia, el sonido quedará más y más enfocado. Cuando se llega a los 1000 Hz, la longitud de onda del sonido será casi igual que el diámetro del cono (fig. 88) y el efecto de enfoque será muy pronunciado.

Este efecto de enfoque de las frecuencias más elevadas, puede demostrarse fácilmente si el oyente se coloca frente al altoparlante o sistema sonoro escuchando atentamente el ruido de una púa en una placa fonográfica o bien el soplido de una cinta magnética. Podrá observar, entonces, que si se aleja del eje del altoparlante, se producirá una fuerte atenuación de esos sonidos.

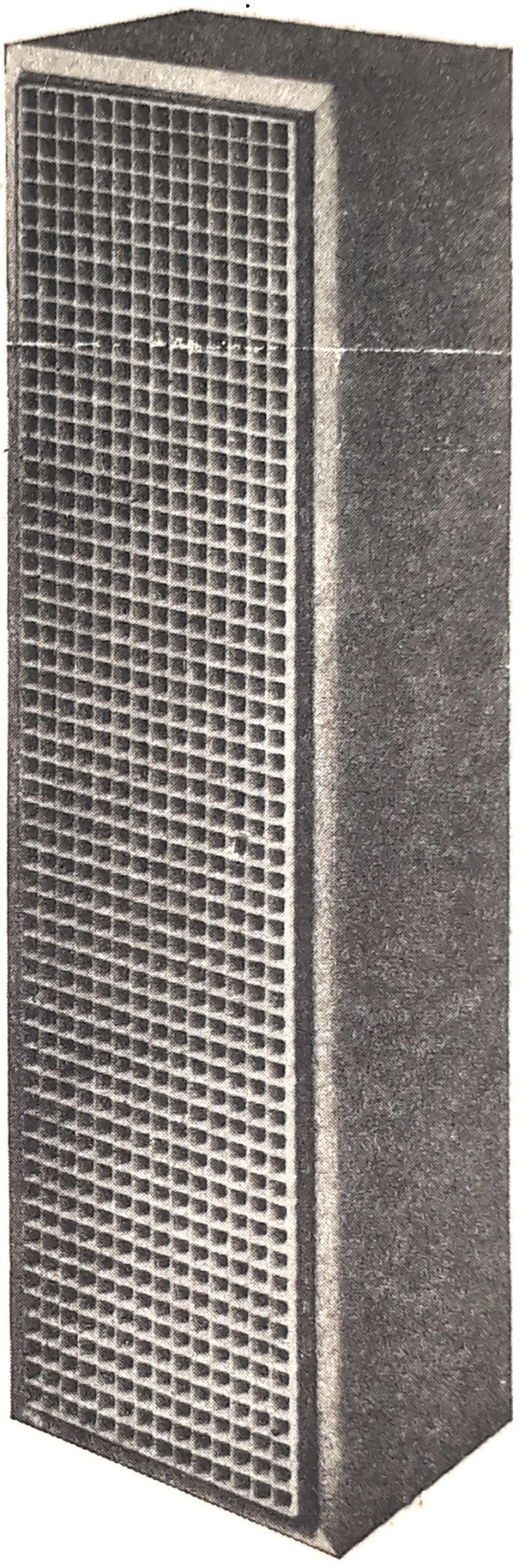


Fig. 87: Aspecto exterior de una columna sonora típica

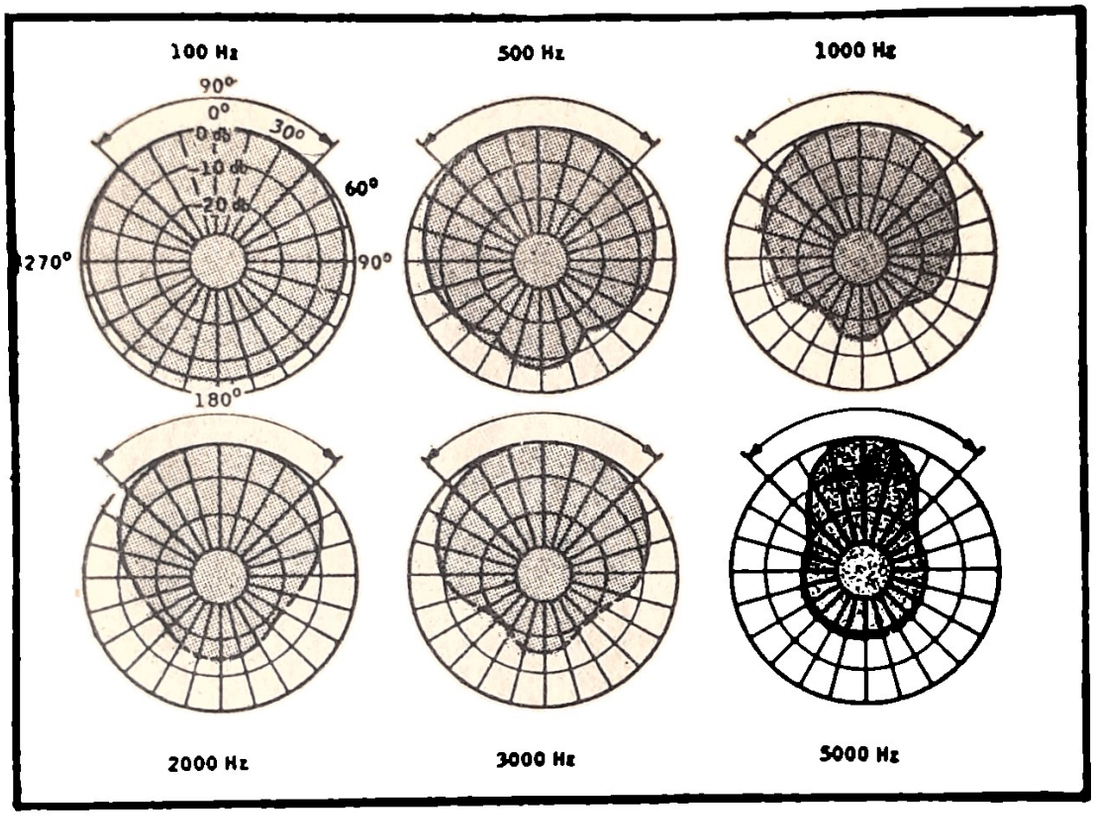


Fig. 88: Curvas de radiación de un altoparlante a diversas frecuencias de audio. Obsérvese el enfoque a medida que la frecuencia aumenta.

La concentración del sonido en las frecuencias muy altas de audio es, en cierta medida, contrarrestada por el hecho de que, en esa frecuencias, el cono ya no trabaja en su totalidad como un pistón rígido, sino que se produce una especie de "ruptura" y solo operará la parte central. Al reducirse así las dimensiones útiles del cono, su tamaño será pequeño comparado con una longitud de onda del sonido radiado y el efecto de enfoque disminuirá.

Precisamente, en este fenómeno de "ruptura" del cono, al operar con frecuencias altas d audio, en que se basan algunos tipos de altoparlantes para mejorar su características direccionales. En efecto, en algunos modelos se acentúa este proceso de "ruptura", introduciendo en el cono una corrugación anular de alta elasticidad alrededor de la parte central, a cierta distancia de ella. (fig. 89). En esta forma, para las frecuencias bajas funcionará todo el cono, en tanto que para las frecuencias altas, solo funcionará la parte central, o sea la zona comprendida entre la corrugación elástica introducida y la bobina móvil. En el mismo principio están basados los altoparlantes coaxiles, los que poseen un doble cono, operando el más grande para radiar las frecuencias menores, en tanto que el más pequeño permitirá un ensanche de las características direccionales de las frecuencias más altas, que de otro modo quedarían enfocadas.

En los altoparlantes de cono circular, el diagrama de distribución del sonido es simétrico, a ambos lados del eje. No sucede lo mismo en los altoparlantes elípticos (fig. 90) donde existe una dimensión mayor que la otra. Aplicando lo que dijimos anteriormente, en el sentido del eje mayor el sonido quedará concentrado, en tanto que se expanderá en el sentido del eje menor. Es justamente por esta razón que los altoparlantes elípticos deben montarse con su eje mayor colocado verticalmente, puesto que en esa forma la distribución horizontal del sonido se efectuará sobre un amplio ángulo, en tanto que la distribución vertical se concen-

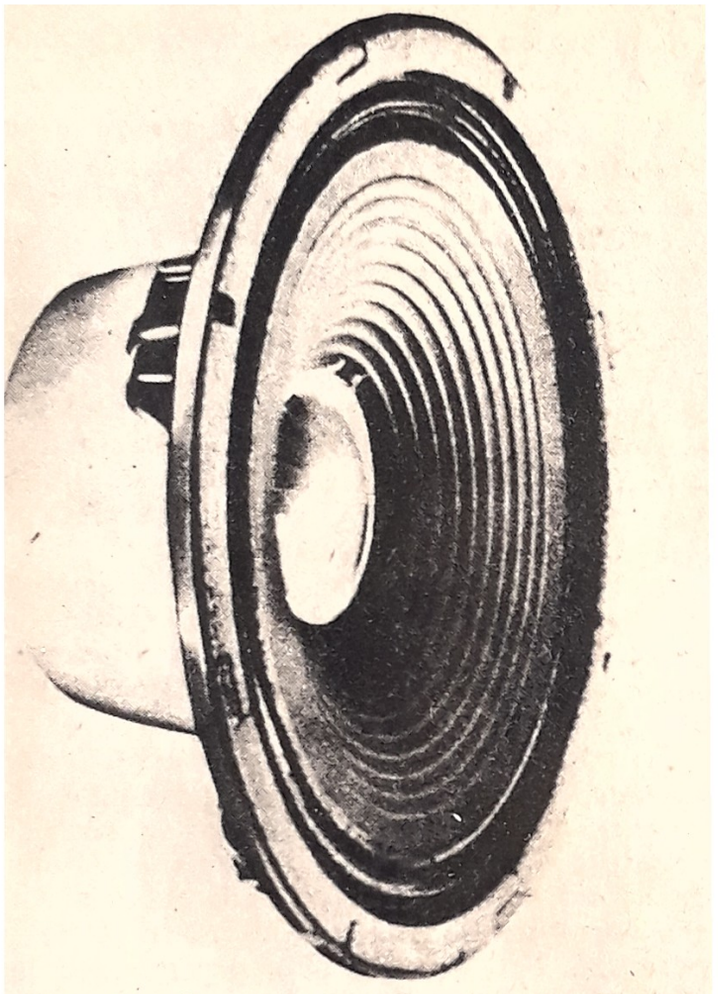
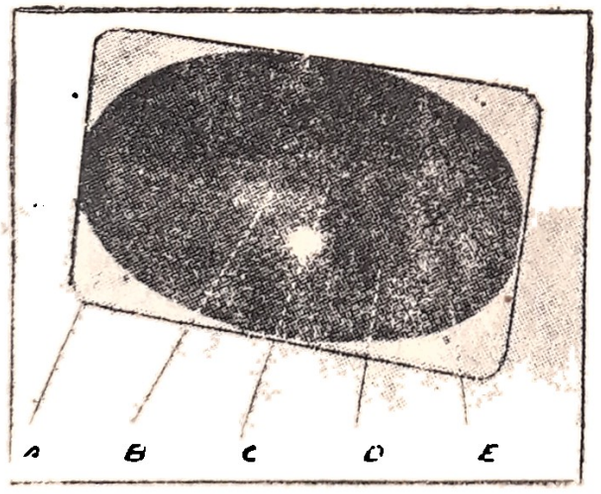


Fig. 89: Corrugaciones en el cono de un altoparlante



trará en un angosto haz.

Ahora bien, supongamos que en lugar de un altoparlante elíptico único, como fuente de sonido, utilizamos un conjunto de altoparlantes de conos circulares colocados verticalmente, muy próximos entre sí, formando lo que se conoce como un *radiador lineal.* Con esta disposición la distribución horizontal del sonido será, aproximadamente, la de un solo altoparlante, en tanto que en el senitdo vertical se angostará mucho (fig. 91), puesto que los conos de las distintas unidades se acoplarán entre sí, comportándose como una fuente única de sonido de gran superficie.

Suponiendo que se empleen altoparlantes de 15 cm de diámetro (6"), colocando cinco de ellos verticalmente muy juntos, el conjunto tendrá dimensiones de una longitud de onda de una frecuencia de 350 Hz; en cambio, su ancho tendrá el valor de una longitud de onda solamente a la frecuencia de 2200 Hz.

Colocando una columna sonora como ésta encima del lugar donde está el orador o participantes de un programa, tendremos una fuente de sonido ideal, desde el punto de vista psicológico, ya que el sonido vendrá del mismo sitio en que se desarrolla la acción. Además, abarcará toda la amplitud de la audiencia, en el sentido horizontal, en tanto que en el sentido vertical pueden disponerse las cosas, mediante una adecuada orientación, de modo tal que el sonido, debido a su menor ángulo de cubrimiento, no alcance a impresionar el micrófono, tal como se muestra claramente en la fig. 93.

Fig. 90: El altoparlante elíptico tiene dos ejes de distintas longitudes. Para una buena distribución horizontal del sonido, este altoparlante deberá colocarse con el eje mayor vertical y no como aparece en la figura

Las ventajas del sistema no son solamente las mencionadas, sino que también se aprovecha el efecto de acoplamiento mutuo entre los parlantes, permitiendo así la obtención de un rendimiento mucho mayor que el que suministraría un altoparlante de superficie más grande que la formada por el conjunto de altoparlantes agrupados.

En efecto, la mayor parte de los principios expuestos en casi todos los tratados, acerca del comportamiento de una instalación sonora, se refieren, casi siempre, al empleo de un único altoparlante. Sin embargo, estos principios se modifican fundamentalmente cuando son varias las unidades que trabajan simultáneamente, en un mismo gabinete. En estas condiciones, como es evidente, la onda sonora radiada por uno de los altoparlantes, actúa al mismo tiempo sobre los otros altoparlantes; en esa forma, el movimiento de los diafragmas vibrantes o conos, se verá influído por las ondas sonoras emitidas por los otros. Veamos que sucede en estas condiciones especiales de trabajo.

Cuando el cono vibra en el aire, se presenta sobre él una reacción ejercida por el medio que lo rodea, que recibe el nombre de *carga de aire*, la que provoca una aumento de la impedancia mecánica del cono, entendiendo con este último término "la relación entre la fuerza vibratoria aplicada al cono y la velocidad lineal que adquirirá éste, en la dirección de la fuerza aplicada". La magnitud en que ha aumentado la impedancia mecánica del cono, debido al efecto de la carga de aire, recibe el nombre de *impedancia de radiación.*

Cuando se agrupan varios altoparlantes, la relación existente entre la fuerza debida al conjunto de los conos vecinos y la velocidad del cono en una instalación de varios altoparlantes ,es igual a la *suma* de la impedancia de radiación propia *más* la impedancia de radiación mutua, o sea provocada por la acción vibratoria de los otros parlantes.

Así como en los circuitos eléctricos es posible determinar la magnitud de la potencia desarrollada conociendo la resistencia ofrecida al paso de la corriente y la intensidad de la misma, estando todo ello expresado por medio de la conocida fórmula $P = I^2.R$, así también, en los circuitos electroacústicos, es posible establecer el valor de la potencia acústica radiada conociendo la resistencia de radiación y la velocidad de la superficie vibrante tal como lo indica la expresión $Pr = Rr. V^2$, suministrándose el resultado en "watts acústicos".

Todo lo dicho significa que si la resistencia de radiación aumenta, por efecto del acoplamiento mutuo de los conos vibrantes, también aumentará la potencia acústica radiada.

Existe una ley general para estas agrupaciones de altoparlantes que expresa lo siguiente: la potencia radiada por un cono (a amplitud constante) es proporcional al cuadrado del número de conos adyacentes. Así, con dos conos de 20 cm de diámetro (8") se generará $2^2 = 4$ veces más potencia en las frecuencias bajas que con un solo parlante. En las frecuencias altas no se obtendrán estos beneficios, puesto que no existe aumento alguno de la resistencia de radiación en estas frecuencias.

J. Moir, que ha efectuado interesantes investigaciones sobre instalaciones con altoparlantes múltiples, estableció que un parlante de 12" (30 cm) posee un rendimiento no mayor del 1 %, o sea que convierte en sonido solo el 1 % de la energía eléctrica recibida en la bobina móvil. Si pudiésemos duplicar la densidad del aire, podríamos llevar al doble el rendimiento, dado que se aumentaría la impedancia de la carga de aire. Esto es, desde luego, imposible de realizar, pero se consiguen iguales efectos colocando los parlantes muy próximos entre sí, dado que en esa forma cada parlante

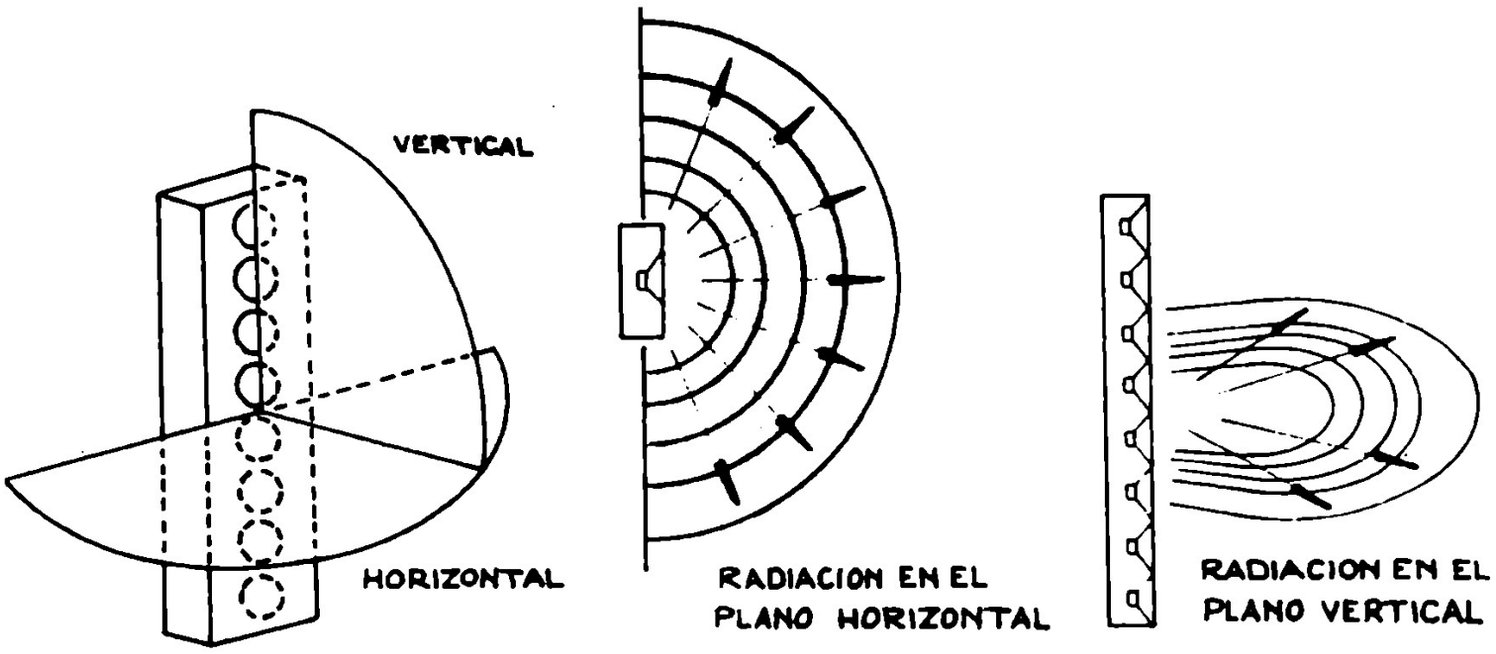


Fig. 91: Una columna de altoparlantes en linea, concentra el sonido en el sentido vertical y lo ensancha en el vertical, comportándose como un altoparlante elíptico gigante

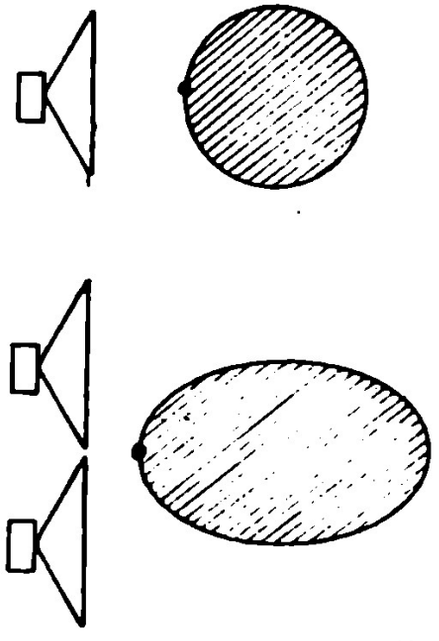
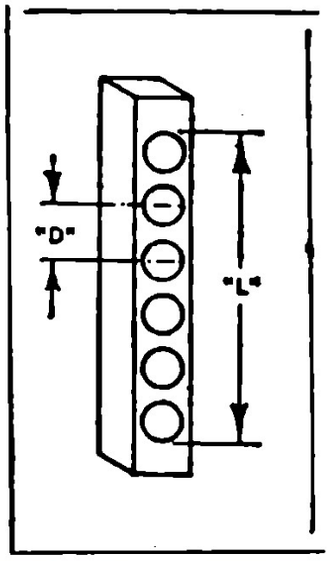


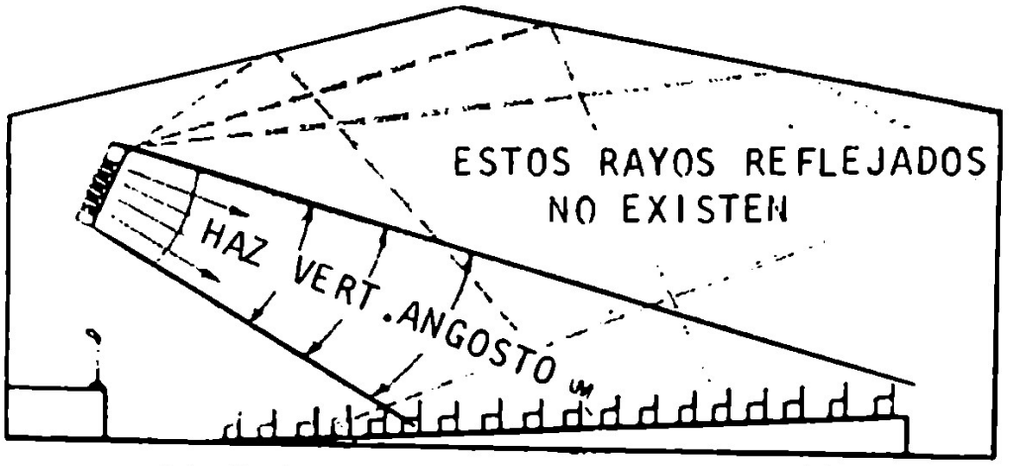
Fig. 92: Comparación de la distribución sonora obtenida con un único altoparlante y dos colocados en línea vertical. Obsérvese el enfoque vertical

se beneficia con la presencia del otro, puesto que, al moverse, cada cono encontrará delante suyo no aire libre, sino aire de mayor densidad, debido al hecho de que el otro cono se está moviendo también hacia adelante y comprimiendo el aire que se encuentra frente a él.

De lo expuesto se deduce algo que es muy importante tener en cuenta, para no malograr los resultados: todos los conos deben *actuar en fase*, o sea que deberán desplazarse simultáneamente hacia adelante o atrás. Algunos autores recomiendan elegir altoparlantes con frecuencias de resonancia muy distintas entre sí, para evitar la formación de crestas en la característica de respuesta a frecuencias. Tales crestas, así como los valles, inherentes a la respuesta de todos los altoparlantes, se producen a distintas alturas del espectro audiofrecuente y, al combinarse en un solo grupo, la salida definitiva del conjunto estará caracterizada por una respuesta más suave y uniforme.

Otros investigadores, recomiendan que el parlante central del conjunto trabaje fuera de fase con respecto al resto de las unidades de la instalación, pues arguyen que con





DISTRIBUCION VERTICAL ANGOSTA

Fig. 94: Columna sonora de parlantes apilados o radiador lineal. "D" es la distancia entre los centros de los altoparlantes

este sistema las crestas y valles serán muy atenuados.

El empleo de parlantes múltiples tiene otras ventajas más; a saber:

1) la deformación del sonido es menor que en el caso de un solo parlante, dado que la potencia total aplicada se reparte entre las diversas unidades, haciendo que el desplazamiento de las bobinas móviles se efectúe dentro de su carrera lineal solamente.

2) aún utilizando altoparlantes de dimensiones pequeñas, la potencia entregada en frecuencias bajas de audio, será muy satisfactoria, debido a que todo el conjunto de parlantes opera como un pistón rígido de mayor superficie de trabajo.

La distancia (D) entre los altoparlantes (fig. 94) tiene suma importancia puesto que si se hace grande, puede llegar un solo momento en que la columna deje de actuar como un radiador lineal y se comporte como una serie de fuentes sonoras independientes. El resultado será la formación de lóbulos en el diagrama de distribución sonora, 90 y 200 grados. En cambio no se modificará el diagrama de distribución horizontal.

Los lóbulos se convierten en un problema serio cuando los dimensiones del radiador lineal son tales que su longitud es cuatro o más veces la de una longitud de onda de la señal radiada.

Evidentemente, cuanto más pequeños sean altoparlantes y mayor el número de ellos, en una columna sonora o radiador lineal de determinada longitud, mejor será la aproximación del comportamiento al de una fuente lineal continua, reduciéndose el número de lóbulos laterales. De hecho no habrá lóbulos hasta alcanzarse la frecuencia cuya longitud de onda sea igual a la distancia que separa los centros de los altoparlantes.

SISTEMAS DE COLUMNAS SONORAS

Hemos visto que el haz sonoro se torna más y más direccional a medida que la frecuencia de la onda sonora aumenta. Esto significa que el ancho del haz no será constante, puesto que se reducirá en el extremo superior del espectro sonoro, pudiendo llegar a ser tan angosto que ni siquiera con varias columnas sonoras sería posible abarcar todo el ancho del salón.

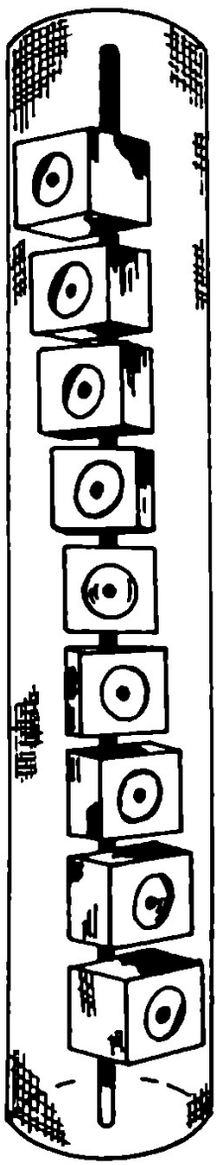


Fig. 95: Columna sonora en "Polo de barbero", original de Philips. La longitud de la columna queda acortada, desde el punto de vista práctico, por el aumento creciente de directividad de los altoparlantes individuales a medida que aumenta la frecuencia de funcionamiento

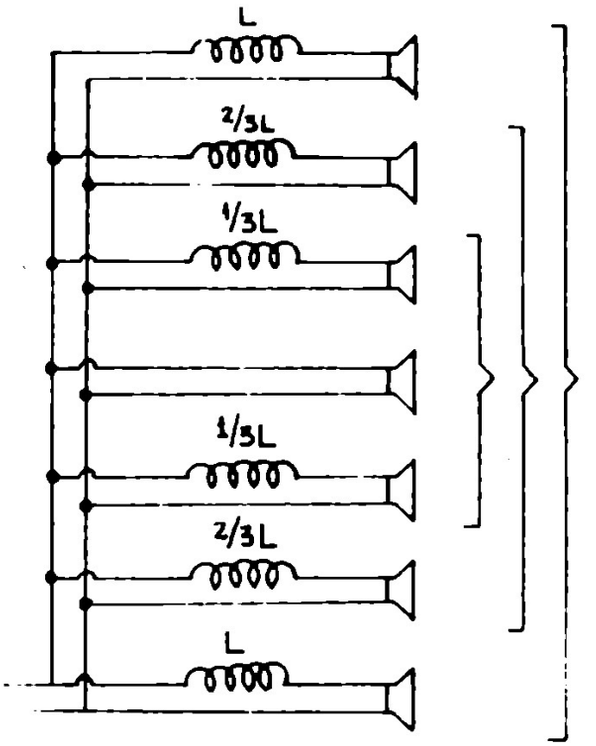


Fig. 97: El parlante central recibe la totalidad del espectro de frecuencias de audio. Los parlantes restantes reciben una zona más reducida del espectro, debido a la acción de los "chokes". La atenuación es progresiva a partir desde el centro

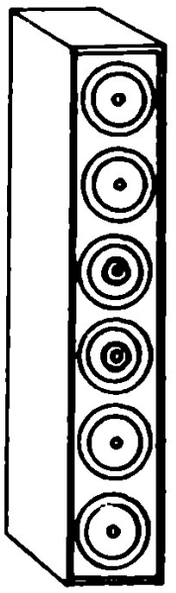


Fig. 96: En este tipo de columna de parlante (University) solo en los altoparlantes centrales existen unidades coaxiles para agudos. En esta forma se produce una reducción mecánica de la altura de la columna en las frecuencias mayores

Lo que se necesita, para solucionar estos inconvenientes, es proyectar el radiador lineal de modo tal que la altura de la columna no sea fija, sino variable, disminuyendo a medida que aumenta la frecuencia de la onda sonora. En una palabra, la coluumna tendrá que variar de modo tal que a 2000 Hz, por ejemplo, la altura sea exactamente la mitad de lo que será a 1000 Hz. En esa forma, la relación entre la longitud de la columna y la longitud de un ciclo de la onda sonora radiada permanecerá siempre constante, por lo que también se mantendrá inmutable el ancho del haz.

Es obvio que este cambio de la altura de la columna, en función de la longitud de onda radiada, no debe ser manual sino au-

tomático. Y a conseguir tal característica de trabajo se han abocado la mayoría de los laboratorios dedicados a la especialidad.

Uno de los primeros ensayos debido a la compañía *Philips* de Holanda, fue el "Mástil de barbero", que se ilustra en la fig. 95. Como puede verse, los altoparlantes agrupados son del tipo común y se colocan desplazados de todo tal que no existen dos parlantes que miren exactamente en la misma dirección. Se aprovecha, en esta disposición, la característica de los altoparlantes comunes de tornarse más y más direccionales a medida que aumenta la frecuencia de la onda sonora radiada. Con el desplazamiento realizado, en el plano horizontal, cualquiera que sea la dirección considerada, la energía radiada en las frecuencias altas se deberá solamente a unos pocos altoparlantes y se ensanchará el diagrama. En cambio el funcionamiento en las frecuencias menores, que no son tan enfocadas, la energía radiada en el plano horizontal se deberá a todo el conjunto de altoparlantes. De este modo la columna sonora actuará como una fuente lineal única. Como se ve, puede considerarse que se ha logrado, en esta forma tan original, que la columna se comporte tal como si hubiese reducido su altura a medida que la frecuencia de trabajo aumenta, siendo la característica más direccional que si todos los altoparlantes estuviesen apuntando en la misma dirección.

Otra idea, para reducir la altura eficaz de la columna sonora, con el aumento de la frecuencia, es la llevada a la práctica por la compañía *University* que se visualiza en la *fig.* 96. Se emplean parlantes coaxiles en las unidades centrales pero se omiten en las de los extremos, eliminando así los radiadores de las frecuencias más altas. En esta forma, la totalidad de la columna operará en las frecuencias bajas, pero solamente una parte menor funcionará; en las frecuencias altas.

Un ensayo promisorio representa el sistema *Jensen* de utilizar dos radiadores lineales. Uno de ellos, pequeño, destinado a la

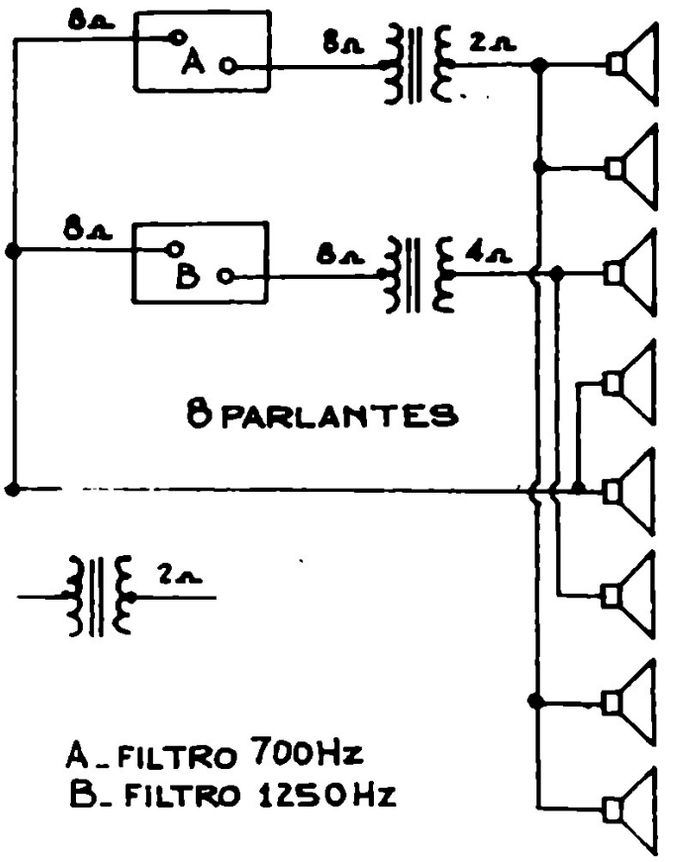
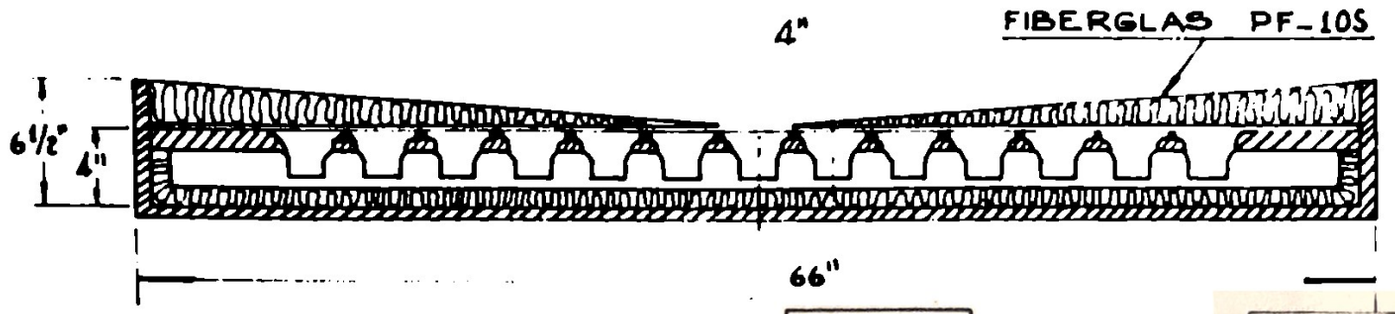


Fig. 98: Aquí se muestra otra variante del sistema anterior de reducción efectiva de la altura de la columna, con la frecuencia de trabajo, pero el funcionamiento no es tan progresivo como el anterior

radiación de frecuencias altas y el otro, más alto, para las frecuencias menores. Ambos radiadores reciben sus correspondientes corrientes de audiofrecuencia, desde el amplificador, a través de una red bien proyectada de divisiones de frecuencia. Las características técnicas de la combinación Ucoa (modelo C55 y modelo C1010) son las que se exponen en la tabla I.

Una variante interesante, también utilizada por la compañía *University*, es la que se muestra en la fig. 97 donde el parlante central está conectado directamente a la fuente de corriente de audiofrecuencia, en tanto que los parlantes restantes lo están a través de sendos "chokes" de filtro, dimen-



sionados de modo tal que las señales de audio aplicadas se vayan atenuando progresivamente, en las diversas unidades, a partir desde el centro a medida que aumenta la frecuencia de trabajo. La fig. 98 muestra otra variante de este sistema, pero el funcionamiento no es tan progresivo como el anterior.

METODO ACUSTICO

Es posible obtener iguales resultados mediante un método acústico, en lugar de eléctrico. Un ejemplo interesante es el que se emplea en la fig. 99 donde puede verse que dalante de los altoparlantes de la columna sonora, se coloca lana de vidrio, cuyo espesor va disminuyendo progresivamente desde los extremos de la columna hacia el altoparlante central, que está desprovisto del material absorbente acústico. En esta forma, se constituye un verdadero filtro acústico pasa-bajos. Las mediciones demuestran un diagrama vertical de cubrimiento de 22 grados, desde los 850 Hz a los 4800 Hz. Recuérdese, para entender mejor como funciona el sistema, que los materiales absorbentes lo son tanto más a medida que aumenta la frecuencia de trabajo, por lo que en las frecuencias altas, prácticamente, la radiación del sonido estará limitada a los parlantes centrales. En el sistema ilustrado, las características son tales que se eliminan la mitad de los altoparlantes en la frecuencia correspondiente a cuatro longitudes de onda de la línea. Además de suprimir los lóbulos, se produce una zona de baja intensidad a 90 y 270 grados, lo que consti-

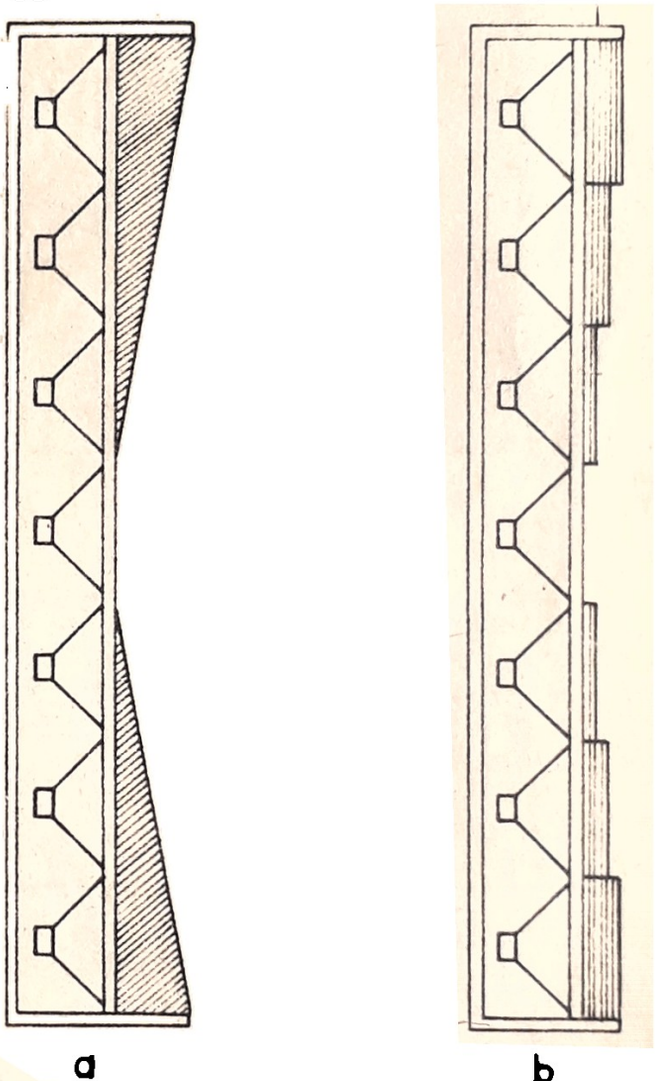
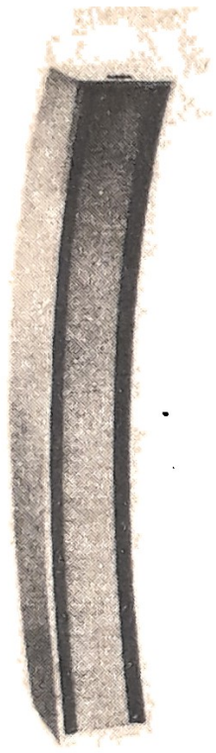


Fig. 100: Dos formas de obtener una reducción de la respuesta de los altoparlantes alejados del centro. En (A) se dispone fibra de vidrio, algodón o fibra de acetato aglomerada, en forma de cuña, a ambos lados del centro. En (B) se disponen bloques de esponja de poliestireno, de distintos espesores



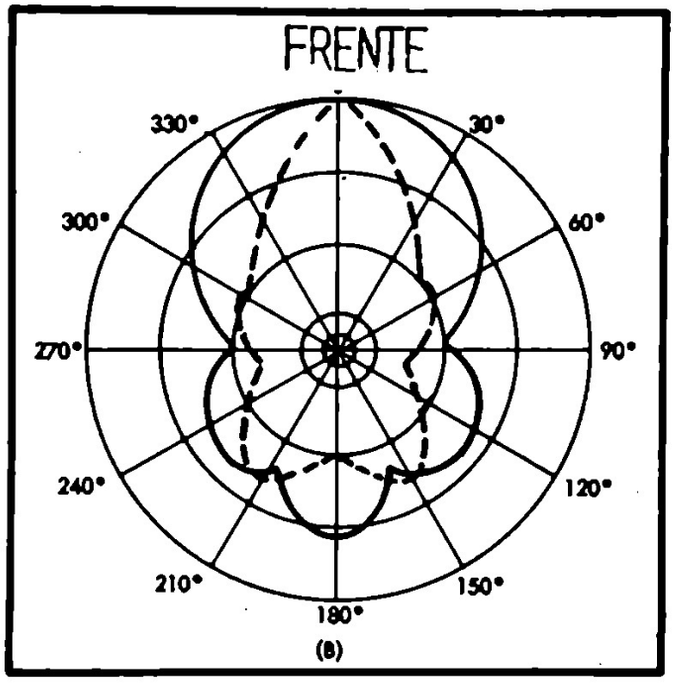


Fig. 101: Radiador curvado de Electro-Voice; (B) distribución polar vertical del radiador curvado (línea llena) comparada con la de un radiador recto (líneas cortadas).

tuye una gran ventaja, puesto que los micrófonos se colocan, normalmente, en esa zona. En esta forma, la realimentación acústica producida por el sonido directo es substancialmente reducida.

EL RADIADOR LINEAL CURVADO

En la fig. 93 se muestra que debido a las características de distribución vertical de una columna sonora, esta deberá montarse baja, con el fin de poder abarcar todo el auditorio. En caso contrario tendrán que utilizarse varias columnas estratégicamente distribuidas. El montaje bajo tiene sin embargo el inconveniente de que gran parte del sonido es absorbido por la ropa de las personas y el moblaje del salón.

Una modificación del radiador lineal descripto, que evita este inconveniente, es el tipo curvado patentado por la compañía

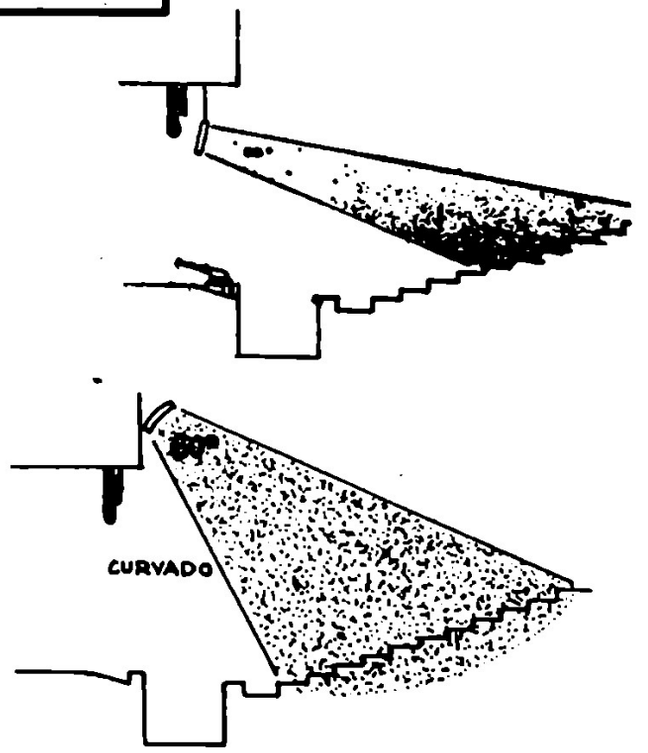


Fig. 102: Si la columna recta se coloca alta, no alcanza a cubrir toda la audiencia. En (B) se muestra que con el radiador curvado se soluciona el problema permitiendo alcanzar a cubrir una mayor audiencia, desde una misma altura

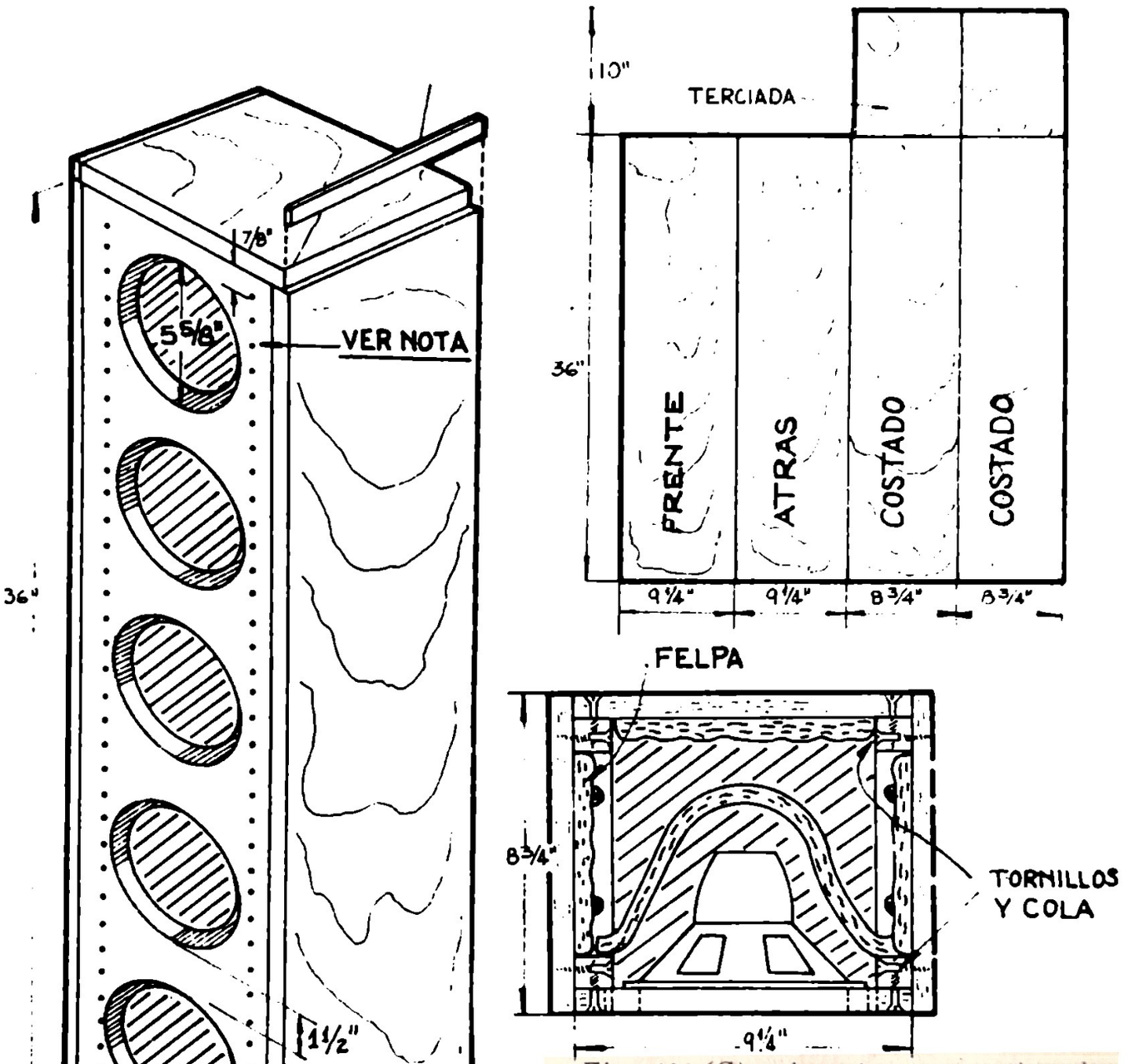


Fig. 102 (C): Aspecto constructivo de un gabinete para columna sonora de cinco parlantes de 6" (15 cm) de diámetro. NOTA: los orificios deben ser de 3-16", separados 1" entre sí. Para la conversión a medidas decimales: 36" (90 cm); 10" (25,4 cm); 9¾" (23,5 cm); 8¾" (22 cm); 5-5/8" (14,3 cm); 7/8" (22 mm)

University (fig. 101). En esta configuración, el radio de curvatura es crítico, tal como lo es la distancia entre los distintos altoparlantes. La distribución polar en el plano horizontal es, esencialmente, la misma que en el radiador lineal común. En el plano vertical, sin embargo, es muy diferente, puesto que el angulo de distribución es, por lo menos, el doble que en el sistemá común.

La intensidad sonora a 90 y 270 grados es muy baja, cuando se compara con intensidades dentro del ángulo de distribución. Otra característica importante es que queda eliminado el lóbulo de la columna común.

En la fig. 102 se expone la ventaja de este sistema: puede colocarse la caja más alta que con el sistema común, lo que aumenta la distancia desde el micrófono, a los altoparlantes y reduce la posibilidad de realimentación acústica. Además, puede cubrirse mejor el salón, sin pérdidas por absorción.

INDICE

AL LECTOR.....7

I TIPOS DE GABINETES REFLECTORES DE BAJOS.....9
EL GABINETE E-W.....9
EL GABINETE DIFFUSICONE.....11
CARGA POR BOCINA SOBRE LA CARA ANTERIOR DEL ALTOPARLANTE.....16
EL GABINETE KARLSON.....16
EFECTO DE LA HENDIDURA EXPONENCIAL.....18
CURVAS CARACTERISTICAS DE IMPEDANCIA.....20
GRAFICO DE RADIACION DEL SONIDO.....24
DATOS PARA LA CONSTRUCCION DEL KARLSON.....27
EL GABINETE KLIPSCH-REBEL.....29
EL GABINETE R-J.....34
DATOS PARA LA CONSTRUCCION DEL R-J.....36
AJUSTE DE LOS REFLECTORES DE BAJOS.....37
AJUSTE CON GENERADOR DE AUDIOFRECUENCIAS.....41
REFLECTORES DE BAJOS ESFEROIDALES.....44

II TUBOS Y LABERINTOS.....45
TEORIA DEL TUBO ACUSTICO.....47
EL LABERINTO ACUSTICO.....53
CONSTRUCCION DE LABERINTOS ACUSTICOS.....56
EL ACOPLADOR ACUSTICO DE FLEWELLING.....58
EL ACOPLADOR ACUSTICO DE JENSEN.....65
EL GABINETE DE BATES.....72
UN LABERINTO ECONOMICO.....76

III LA BOCINA.:.....81
DIFERENCIAS ENTRE UN TUBO Y UNA BOCINA.....81
LA PRACTICA DE LA BOCINA.....83
LA BOCINA DE VOIGT.....84
LAS BOCINAS DE STROMBERG-CARLSON.....87
EL PROBLEMA DEL TAMANO DE LA BOCINA.....89
APROVECHAMIENTO DE LAS PAREDES.....89
EL GABINETE BARONET.....91
IMAGENES REALES Y VIRTUALES.....93
EL GABINETE REGENCY.....98
LA BOCINA PLEGADA.....101

IV TEORIA DE LAS COLUMNAS SONORAS.....104
EL RADIADOR LINEAL ACUSTICO.....105
EL EFECTO DE ACOPLAMIENTO MUTUO.....108
SISTEMAS DE BOCINAS ACUSTICAS.....110
EL RADIADOR LINEAL CURVO Y SUS VENTAJAS.....114
CONSTRUCCION DE UNA COLUMNA SONORA.....115

ENCICLOPEDIA MENSUAL DE ELECTRONICA

1

radiorama

ENCICLOPEDIA MODERNA DE ELECTRONICA

2

radiorama

"BAFFLES"

CAJAS ACUSTICAS

SAUL
SORIN

radiorama

ENCICLOPEDIA MODERNA DE ELECTRONICA

LA BIBLIOTECA TECNOLOGICA
MAS COMPLETA SOBRE TEMAS DE
ELECTRONICA
QUE SE HA EDITADO HASTA HOY

A PRECIOS POPULARES!

BIBLIOTECA ELECTRONICA

CADA MES UN TOMO DE
120 PAGINAS

·RADIO · TELEVISION·
·AMPLIFICACION·
·GRABACION·ESTEREO·
·TRANSMISION· F·M·

FORME SU PROPIA
BIBLIOTECA DE
ESTUDIO Y CONSULTA!

TOMO
PESOS LEY

Littec
EDICIONES

DE VENTA
PESOS LEY